



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH

Escola Politècnica Superior d'Edificació
de Barcelona

MÁSTER UNIVERSITARIO EN CONSTRUCCIÓN AVANZADA EN LA EDIFICACIÓN

TRABAJO DE FIN DE MÁSTER

VALORACIÓN DE LA UTILIDAD DE LA PECTINA COMO INHIBIDOR ECOLÓGICO DE CORROSIÓN PARA EL ACERO LAMINADO EN MEDIO ÁCIDO

Proyectistas: Bolívar Torres Villamagua

Ronny Guarderas Luna

Directora: Ana María Lacasta

Codirectora: Laia Haurie Ibarra

Convocatoria: 2020

RESUMEN

En este trabajo se busca describir el eficiente desempeño de compuestos orgánicos, la pectina y el almidón de la patata, empleados como inhibidores ecológicos de corrosión, al ser aplicados como protección de acero al carbono y aluminio frente a una solución de ácido clorhídrico. Para realizar los experimentos se recurrió a métodos previamente descritos por otros investigadores. Se procedió a la extracción de los compuestos a partir de patatas frescas, y posterior comparación con productos industriales homogéneos actualmente comercializados. Pudimos apreciar que el método de extracción del almidón de la patata es considerablemente menos complejo que el de la pectina. Con los compuestos obtenidos, realizamos ensayos de corrosión de placas metálicas protegidas con tres diferentes concentraciones, 2, 4 y 8 g/L, tanto para las pectinas (de pulpa, de corteza y comercial) como para el almidón (de pulpa y de corteza); posteriormente sumergimos las placas protegidas y clasificadas en una concentración de ácido clorhídrico de 1 M HCl (un molar). A partir de este ensayo obtuvimos cuadros comparativos para cada caso de velocidad de corrosión y eficiencia de inhibición; basados en la pérdida de masa, medida con una precisión de ± 0.01 mg. De estos resultados pudimos apreciar que, para la eficiencia de inhibición frente al acero existe una relación directa en relación con la concentración del inhibidor; mientras que para el aluminio la eficiencia es similar, independientemente de la concentración utilizada para su protección.

ABSTRACT

This investigation describes the efficient performance of organic compounds, pectin and potato starch, used as ecological corrosion inhibitors when applied as protection of carbon steel and aluminum, against an acidic medium of hydrochloric acid solution. To perform the experiments, methods previously described by other researchers were used. We proceed to the extraction of the compounds from fresh potatoes, and subsequent comparison with homogenous industrial products currently marketed. We were able to detect that the method of extracting potato starch is less complex than that of pectin. With the compounds obtained, we performed corrosion tests of the metal plates protected with three different concentrations, 2, 4 and 8 g / L, both for pectins (pulp, skin and commercial) and for starch (pulp and skin); Subsequently we submerged the protected and classified plates in a concentration of hydrochloric acid of 1 M HCl. From this test we obtained comparative tables for each case of corrosion rate and inhibition efficiency; based on mass loss, measured with an accuracy of ± 0.01 mg. From these results we found that, for the efficiency of inhibition against steel, there is a direct relationship in relation to the concentration of the inhibitor; while for aluminum the efficiency is similar, regardless of the concentration used for its protection

ÍNDICE

RESUMEN	1
ABSTRACT	2
ÍNDICE	3
GLOSARIO	10
INTRODUCCIÓN	11
1 ANTECEDENTES Y GENERALIDADES	13
1.1 La corrosión.....	13
1.2 Importancia tecnológica y económica de la corrosión.....	14
1.2.1 Valoración de la corrosión	16
1.2.2 Otras aplicaciones de la corrosión	17
1.3 Fundamentos electroquímicos de corrosión.....	18
1.4 Inhibidores de corrosión	20
1.4.1 Inhibidores orgánicos.....	20
1.4.2 Ejemplos de aplicación de inhibidores orgánicos	21
1.4.3 Tipos de inhibición.....	22
1.4.4 Mecanismo de inhibición de corrosión	22
1.5 La Patata como fuente de compuestos orgánicos	24
1.5.1 Pectina.....	27
1.5.2 Almidón	27
1.6 Inhibidores orgánicos y su extracción - Estado del arte	29
2 MÉTODO EXPERIMENTAL DE OBTENCIÓN Y EXTRACCIÓN:.....	33
2.1 Insumos, Materiales y Equipos	34
2.1.1 Materiales y Equipos de laboratorio.....	34
2.1.2 Pectina Comercial	35

2.1.3	Pintura Antioxidante	36
2.1.4	Patata	37
2.1.5	Ácido cítrico	37
2.1.6	Alfa amilasa	38
2.1.7	Metabisulfito sódico.....	38
2.2	Extracción de almidón de corteza y pulpa de patata	39
2.3	Eliminación de Almidón	41
2.4	Extracción de la pectina	44
2.4.1	Hidrólisis ácida.....	44
2.4.2	Descripción de proceso	44
2.4.3	Eficiencia de extracción de la pectina.....	46
3	TÉCNICA DE CARACTERIZACIÓN DE CORROSIÓN	48
3.1	Insumos, Materiales y Equipos.....	48
3.1.1	Ácido Clorhídrico.....	48
3.1.2	Insumos de laboratorio.....	49
3.1.3	Material y equipo de Laboratorio.....	49
3.2	Proceso de comprobación de inhibición.....	50
3.2.1	Análisis Gravimétricos	50
3.2.2	Examen de superficie.....	52
3.3	Preparación de probetas	53
3.3.1	Formación la monocapa protectora.	54
3.4	Preparación de medio corrosivo ácido.....	58
3.4.1	Aplicación del medio corrosivo ácido.....	58
3.4.2	Toma de Datos.....	59
4	DISCUSIÓN Y RESULTADOS.....	60
4.1	Velocidad de Corrosión.....	60

4.1.1	Pectina Comercial	60
4.1.2	Pectina de Corteza	62
4.1.3	Pectina de Pulpa	63
4.1.4	Almidón de corteza.....	65
4.1.5	Almidón de Pulpa	66
4.2	Eficiencia de inhibición.....	68
4.2.1	Pectina Comercial	68
4.2.2	Pectina de Corteza	69
4.2.3	Pectina de Pulpa	71
4.2.4	Almidón de corteza.....	72
4.2.5	Almidón de Pulpa	73
4.3	Resumen de Resultados	75
4.4	Resultado de Análisis Topológico por SEM.....	77
4.4.1	Placa en ausencia de inhibidor y sin inmersión en HCl	78
4.4.2	Placa en ausencia de inhibidor y con inmersión en HCl	80
4.4.3	Placa en presencia de inhibidor y con inmersión en HCl	81
4.4.4	Placa en presencia de inhibidor y sin inmersión en HCl	83
4.4.5	Resumen de resultados (SEM)	85
4.5	Comparativa de pintura antioxidante y almidón de corteza de patata	85
4.5.1	Eficiencia de Inhibición de la Pintura y comparativa con el almidón de corteza de patata	86
4.5.2	Velocidad de Corrosión de la Pintura y comparativa con el almidón de corteza de patata.	88
CONCLUSIONES / RECOMENDACIONES.....		90
BIBLIOGRAFÍA.....		92
AGRADECIMIENTOS		95

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Formación de áreas anódicas y catódicas	19
Figura 1.2. Explicación de adsorción en placa	23
Figura 1.3. Estructura química de la pectina.....	27
Figura 1.4. Estructura química del almidón.....	29
Figura 2.1. Esquema resumen, del proceso de obtención y extracción de pectina y almidón.....	33
Figura 2.2. Pectina NH E-440	35
Figura 2.3. Pintura Antioxidante.	36
Figura 2.4. Ácido cítrico (E330)	37
Figura 2.5. Alfa Amilasa	38
Figura 2.6. Metabisulfito sódico(E-223).....	38
Figura 2.7. Corteza de patata y Pulpa de patata	39
Figura 2.8. Mezcla de la corteza y la patata (1: 1, p / v), con agua destilada	39
Figura 2.9. Proceso de deshidratación en cámara climática.....	40
Figura 2.10. Corteza y pulpa deshidrata, respectivamente.....	40
Figura 2.11. Triturado de pulpa en mortero	40
Figura 2.12. Harina con almidón de corteza(marrón) y almidón de pulpa(blanca).....	41
Figura 2.13. Actividad Enzimática, tanto de la corteza como la pulpa, a la espera del proceso de centrifugación	42
Figura 2.14. Preparación para la hidrolización enzimática.....	42
Figura 2.15. Lavado del precipitado con Bioetanol.....	42
Figura 2.16. Proceso de centrifugación, para retirar el sobrenadante	43
Figura 2.17. Harina de pulpa(blanca) y corteza(marrón), libre de almidón	43
Figura 2.18. Hidrólisis ácida, con ajuste de pH, con ácido cítrico	44
Figura 2.19. Proceso de lavado con bioetanol y recentrifugado.....	45

Figura 2.20. Pectina de pulpa y corteza, dispersada en agua destilada	45
Figura 2.21. Rendimiento de extracción de PECTINA	46
Figura 3.1. Ácido Clorhídrico	48
Figura 3.2. Formación del monocapa protector.....	54
Figura 3.3. Preparación de la solución de concentración mayor (PC, PCP, PPP, ACP, APP), para posteriores disoluciones en serie	55
Figura 3.4. Aplicación del monocapa protector (PC, PCP, PPP, ACP, APP).....	56
Figura 3.5. Codificación de muestras.....	57
Figura 3.6. Preparación del medio ácido	58
Figura 3.7. Inmersión de muestras en el ácido clorhídrico.....	58
Figura 3.8. Muestras retiradas del HCL y secadas, previas a la toma de peso posterior a la inmersión.....	59
Figura 4.1. Velocidad de Corrosión Acero – Pectina Comercial	61
Figura 4.2. Velocidad de Corrosión Aluminio – Pectina Comercial	61
Figura 4.3. Velocidad de Corrosión Acero – Pectina Corteza de Patata.....	62
Figura 4.4. Velocidad de Corrosión Aluminio – Pectina Corteza de Patata	63
Figura 4.5. Velocidad de Corrosión Acero – Pectina pulpa de Patata	64
Figura 4.6. Velocidad de Corrosión Aluminio – Pectina pulpa de Patata	64
Figura 4.7. Velocidad de Corrosión Acero – Almidón corteza de Patata	65
Figura 4.8. Velocidad de Corrosión Aluminio – Almidón corteza de Patata.....	66
Figura 4.9. Velocidad de Corrosión Acero – Almidón pulpa de Patata	66
Figura 4.10. Velocidad de Corrosión Aluminio – Almidón pulpa de Patata.....	67
Figura 4.11 Eficiencia de Inhibición Acero – Pectina Comercial	68
Figura 4.12 Eficiencia de Inhibición Aluminio – Pectina Comercial	69
Figura 4.13 Eficiencia de Inhibición Acero – Pectina Corteza de Patata.....	69
Figura 4.14 Eficiencia de Inhibición Aluminio – Pectina Corteza de Patata.....	70

Figura 4.15 Eficiencia de Inhibición Acero – Pectina Pulpa de Patata	71
Figura 4.16 Eficiencia de Inhibición Aluminio – Pectina Pulpa de Patata	72
Figura 4.17 Eficiencia de Inhibición Acero – Almidón Corteza de Patata	72
Figura 4.18 Eficiencia de Inhibición Aluminio – Almidón Corteza de Patata	73
Figura 4.19 Eficiencia de Inhibición Acero – Almidón Pulpa de Patata	74
Figura 4.20 Eficiencia de Inhibición Aluminio – Almidón Pulpa de Patata	74
Figura 4.21 Resumen promedio de resultados Acero al Carbono	76
Figura 4.22 Resumen promedio de resultados Aluminio	77
Figura 4.23. SEI y BEC con aumento de x100.....	78
Figura 4.24. SEI y BEC con aumento de x1000.....	79
Figura 4.25. SEI y BEC con aumento de x2000.....	79
Figura 4.26. SEI y BEC con aumento de x100.....	80
Figura 4.27 SEI y BEC con aumento de x1000.....	81
Figura 4.28 SEI y BEC con aumento de x2000.....	81
Figura 4.29 SEI y BEC con aumento de x100.....	82
Figura 4.30 SEI y BEC con aumento de x1000.....	82
Figura 4.31 SEI y BEC con aumento de x 2000.....	83
Figura 4.32 Bec de una zona de la placa con corrosión.....	83
Figura 4.33 SEI y BEC con aumento de x 100.....	84
Figura 4.34 SEI y BEC con aumento de x 500.....	84
Figura 4.35. Espectro de la partícula de almidón, encontrada en la superficie de la placa	85
Figura 4.36. Eficiencia de inhibición de Pintura Antioxidante - Acero	87
Figura 4.37. Eficiencia de inhibición de Pintura Antioxidante – Aluminio	87
Figura 4.38. Velocidad de corrosión de la Pintura Antioxidante – Acero	88
Figura 4.39. Velocidad de corrosión de la Pintura Antioxidante – Aluminio	88

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1. Equipo de laboratorio	34
Tabla 2-2. Datos Técnicos pintura	36
Tabla 2-3. Características de la Patata empleada en el ensayo	37
Tabla 3-1. Sistema de codificación de muestras	57
Tabla 4-1 Resumen promedio de resultados	75

GLOSARIO

PC: Pectina comercial

PCP: Pectina extraída de la corteza de patata

PPP: Pectina extraída de la pulpa de patata

ACP: Almidón extraído de la corteza de patata

APP: Almidón extraído de la pulpa de patata

HCl: Ácido clorhídrico

INTRODUCCIÓN

Esta investigación surge de un interés común por contribuir al uso de productos ecológicos y sostenibles en la edificación, revalorizando en el proceso residuos orgánicos que en la actualidad se generan de forma masiva. Un ejemplo son los residuos de la industria de la patata. La literatura científica posee varios ejemplos de aplicación de productos extraídos de la patata. En nuestro caso, nos centraremos en la viabilidad de extracción de pectina y otros compuestos de la patata, utilizándolos para medir su efectividad como inhibidores de corrosión.

El presente documento describe, a partir de las generalidades teóricas de la problemática de la corrosión en la edificación, una alternativa para la gestión de un residuo orgánico masivo, en este caso proveniente de la patata, que permita industrializarse y ser utilizado con el fin propio de contrarrestar sus efectos.

En el capítulo uno se hará referencia a las generalidades propias de la corrosión, así como a la importancia de gestionar y revalorizar los residuos orgánicos, como los procedentes de las patatas, que se producen en grandes cantidades.

Por otro lado, se presentarán y analizarán algunos estudios previos referentes al mantenimiento y protección frente a la corrosión, los cuales muestran que el uso de productos orgánicos y ecológicos, además de factibles, son una alternativa de alto rendimiento.

A partir del segundo capítulo, se explica a detalle metodologías estudiadas y seleccionadas para aplicarse, así como los materiales correspondientes para ser utilizados en el laboratorio.

El trabajo interpreta y repite métodos de obtención de compuestos orgánicos a partir del residuo y define su mayor o menor complejidad, dando una idea de sus posibles utilidades y ventajas.

Se ha encontrado en otros estudios, que el potencial de eficiencia de estos compuestos orgánicos es altamente versátil, por lo que se ha discernido y optado por aplicar algunos de aquellos en los que mejores resultados se ha obtenido previamente.

En el tercer capítulo se describirán los procesos realizados para obtener los correspondientes resultados comparativos de la eficiencia entre los compuestos previamente extraídos.

Con base en investigaciones relacionadas con las alternativas de solución a la misma problemática, describimos a continuación métodos de comprobación de la funcionalidad y eficiencia en la aplicación de estos compuestos, con el fin de poder seleccionar el más adecuado según la circunstancia en la que se requiera utilizar o seguir desarrollando.

El trabajo destacará en el cuarto capítulo, las ventajas y cualidades de los compuestos utilizados que hayan dado resultados favorables, con el objeto de ser aprovechado como punto de partida para posteriores estudios que deseen o busquen profundizar en el desarrollo de productos relacionados, y en un caso favorable, que llegasen a industrializarse.

Gráfica y numéricamente se presentará la comparación y selección de los compuestos que mejor y peor rendimiento hayan presentado en relación a los métodos cualitativos y cuantitativos aplicados para su aproximación.

1 ANTECEDENTES Y GENERALIDADES

Los materiales expuestos al ambiente, pueden y van a degradarse física y químicamente en su ciclo de vida desde su instalación. Es a esta degradación a la que se la conoce como corrosión, la cual se presenta cuando el material involucrado es un metal. (Pedefferri 2018)

En la actualidad, la corrosión puede presentarse en prácticamente todas las edificaciones del mundo, ya sea a nivel general estructural, o puntual debido a un detalle específico que pudiese provocarla, o debido a la ubicación del edificio en relación a humedad ambiental, cercanía al mar, temperatura ambiente, así como también al uso del edificio, sistema de ventilación, y la realización de sus mantenimientos correspondientes.

Gran parte de los métodos que se han utilizado desde que el problema se hizo evidente, han sido el reemplazo parcial o total de las piezas afectadas, y de preferencia únicamente si su utilidad se ve comprometida totalmente. Caso contrario, se han optado por reparaciones puntuales, o más hacia la época actual, el uso de productos sintéticos que ayuden a detener o ralentizar el proceso de deterioro de las partes afectadas.

1.1 La corrosión

Según el diccionario de la Real Academia de la Lengua (RAE), la corrosión se define químicamente como ***"el desgaste paulatino de los cuerpos metálicos por acción de agentes externos, persista o no su forma"***.

En el proceso de corrosión, los átomos metálicos, forman compuestos en presencia de agua y gases produciendo la pérdida de material; en un elemento estructural el proceso se da de este modo, hasta la falla del elemento, y en el caso de una tubería de agua, hasta que la masa de herrumbre impida su función

normal de paso al taponarse o en su defecto se inhabilite por presencia de agujeros. Debido a que la corrosión es el deterioro del material por la reacción que le provoca su entorno en consecuencia de un ataque electroquímico; en síntesis, todos materiales buscan su forma de mayor estabilidad termodinámica, es decir un estado de menor energía o equilibrio químico con su entorno. Por ejemplo, el hierro volverá a ser óxido de hierro. Las aleaciones de hierro son comúnmente utilizadas como material de construcción. Si el metal no está protegido, se corroerá fácilmente en un entorno ácido y más aún marítimo. (Ranow 2008)

Según la norma ISO 8044, la interacción fisicoquímica entre un metal y su entorno resulta en un cambio de las propiedades del metal y puede a menudo conducir a un deterioro de la función del metal, el entorno o el sistema técnico del que forma parte. Y de esta definición se resalta que el término corrosión se refiere al proceso, no al resultado. Por este motivo, este último se definiría como “daño por corrosión”, deterioro o efecto.

Una definición alternativa más amplia, pero ampliamente aceptada, de la Unión Internacional de **Química Pura y Aplicada (IUPAC)**, abarca la degradación de materiales no metálicos y metálicos, como sigue: “La corrosión es una reacción interfacial irreversible de un material (metal, cerámica, polímero) con su entorno que resulta en el consumo del material o en la disolución en el material de un componente del entorno. A menudo, pero no necesariamente, la corrosión produce efectos que son perjudiciales para el uso del material considerado. Los procesos exclusivamente físicos o mecánicos como la fusión o la evaporación, la abrasión o la fractura mecánica no están incluidos en el término corrosión”.

1.2 Importancia tecnológica y económica de la corrosión

Actualmente el problema de la corrosión constituye un aspecto fundamental en la sociedad puesto que el uso de materiales metálicos ha crecido exponencialmente en los últimos años. De entre todos los procedimientos utilizados para evitar el

deterioro de los metales, los inhibidores constituyen uno de los métodos más efectivos y económicos de protección frente a un ataque agresivo según el medio en el que se utilizan. De este modo, el correcto uso de los inhibidores podría extender la vida útil de los equipos en servicio hasta por diez veces su vida útil, prevenir accidentes, y en ciertos casos puntuales podría permitir el uso de materiales menos costosos como aceros y aleaciones ordinarias, en circunstancias que requieran materiales más sofisticados, y por ende más caros.(Cabrera 2006)

La corrosión involucra a los ámbitos de infraestructura, industria y patrimonio cultural concurrentemente. Todos los sectores están relacionados: energía, transporte, química, comida y bebidas, petróleo y derivados, farmacéuticas, maquinaria e ingeniería civil.

La corrosión ataca estructuras de hormigón armado y metálicas, tuberías de hidrocarburos y agua, infraestructura de transporte aéreo, naval y terrestre, puentes, muelles, estructuras sobre el agua, plantas y reactores nucleares, plantas de energía, dispositivos electrónicos, implantes de cuerpo, patrimonio cultural, artefactos y muchas más. Estimaciones del Ministerio de Industria del Reino Unido y Japón, la Oficina Nacional de Normas en nombre del Congreso de los Estados Unidos y el Instituto Nacional de Ciencia y Tecnología de los Estados Unidos han confirmado que aquello que podemos definir como el “costo de la corrosión” explica alrededor del 3 a 4% del PNB de los países industrializados. Del mismo modo, en un estudio de NACE (**IMPACT 2016**) se estima que el costo global de la corrosión es de USD \$2.5 billones, lo que representaría en un país genérico aproximadamente el 3.4% del Producto Interno Bruto (PIB).(Pedeferrri 2018)

Debe enfatizarse que la corrosión no siempre significa daño, sino un costo industrial, que también tiene aspectos humanos, sociales y culturales. La prevención de la corrosión (es decir, los costos de corrosión asociados) contribuye en gran medida a hacer posibles los procesos industriales, reduciendo

el consumo de energía y materia prima, haciendo que las plantas sean más seguras y confiables, preservando el patrimonio cultural y otros beneficios.

En algunos estudios, se ha estimado que entre el 25 y 40% de la producción de acero está destinada para el reemplazo y reparación del acero corroído. Por otro lado, incluso históricamente se ha mencionado a la corrosión como posible detonante de problemas a gran escala como, por ejemplo, el posible envenenamiento de gran parte de los habitantes del Imperio Romano debido a la corrosión del plomo utilizado en sus envases de comidas y bebidas. (Pedferri 2018)

1.2.1 Valoración de la corrosión

El costo de la corrosión viene dado por la suma de los costos directos y costos indirectos, que también abarcan costos no cuantificables (como la pérdida de vidas humanas cuando ocurren fallas catastróficas). Los costos indirectos son a menudo difíciles de evaluar y pueden exceder los costos directos.

Ejemplos de costos directos son:

- Costos de los componentes dañados y costos de sustitución asociados
- Costos del método de prevención: los recubrimientos protectores, protección catódica, tolerancia a la corrosión o soluciones redundantes, materiales resistentes a la corrosión

Ejemplos de costos indirectos son:

- Costos de pérdida de producción
- Costos relacionados con la contaminación
- Pérdida de imagen

La corrosión no se puede detener, pero puede reducirse en un grado muy elevado en comparación a su comportamiento natural. En 1971, el Dr. Thomas Percy Hoar (experto en el área de corrosión) sugirió, basándose en diversas fuentes, que los costos de la corrosión podrían reducirse en un 15 a 35% simplemente aplicando el conocimiento básico de los principios de corrosión, adoptando las técnicas más familiares, como la protección catódica, la inyección de inhibidores de corrosión o la selección de un material resistente y la mejora de diseños. Años después, un informe emitido en 2016 por **NACE IMPACT**, confirmó que la implementación de las mejores prácticas de prevención de la corrosión podría generar ahorros globales de entre el 15 y el 35% del costo del daño, o un monto aproximado de USD \$ 375 a 875 mil millones. (Pedferri 2018)

1.2.2 Otras aplicaciones de la corrosión

Se puede encontrar variedades de uso, como el caso de la corrosión metálica 'constructiva', por ejemplo, el ataque químico utilizado para resaltar su microestructura o para hacerla rugosa o brillante, construir una capa protectora o atractiva, tallar su superficie, realizar una eliminación selectiva del material, producción de componentes específicos corrosivos y otros relacionados. (Pedferri 2018)

Del mismo modo, algunas aplicaciones conducen a la corrosión artística o creativa, como era común en la Edad Media, para decorar armas, armaduras y otros objetos mediante grabado químico y producir "acqueforti" de placas de acero y cobre grabadas con ácido nítrico. (Pedferri 2018)

1.3 Fundamentos electroquímicos de corrosión

De la combinación de dos conductores electrónicos (metales) a través de un conductor iónico (electrolito) se obtiene una celda electroquímica. En ella, pueden darse procesos electroquímicos con el paso de una corriente eléctrica. Si esta celda produce energía eléctrica, causada por el consumo de energía química, se conoce como pila o pila galvánica. Por otro lado, si la celda electroquímica consume corriente de una fuente externa, almacenando como consecuencia energía química, tenemos lo que se conoce como celda electrolítica. (Apaza Pucamayo y Guzman Coarita 2018)

Algunas celdas galvánicas reciben otros nombres, como es el caso de la celda de corrosión, que es una celda o pila galvánica en la cual, las propias reacciones electroquímicas que tienen lugar conducen a la corrosión. La acción de estas celdas conduce a un ataque localizado, tal como picaduras o corrosión bajo tensión. (Apaza Pucamayo y Guzman Coarita 2018)

Definición de Ánodo y Cátodo

Para la notación de los dos electrodos en una celda electroquímica (galvánica o electrolítica) son válidas las siguientes definiciones generales:

- Ánodo: Electrodo en el cual, o a través del cual, la corriente positiva pasa hacia el electrolito.
- Cátodo: Electrodo en el cual entra la corriente positiva proveniente del electrolito. (Soriano Rull y Pancorbo Floristán 2014)

Son válidas de manera general las siguientes reglas:

- La reacción anódica es una oxidación la reacción catódica una reducción.
- Los aniones migran hacia el ánodo, y los cationes hacia el cátodo.(Soriano Rull y Pancorbo Floristán 2014)

La corrosión electroquímica



Figura 1.1. Formación de áreas anódicas y catódicas
Fuente: Soriano Rull y Pancorbo Floristán, 2014

La corrosión electroquímica es un proceso espontáneo que denota siempre la existencia de una zona anódica (la que sufre la corrosión), una zona catódica y un electrolito, y es imprescindible la existencia de estos tres elementos, además de una buena unión eléctrica entre ánodos y cátodos, para que este tipo de corrosión pueda tener lugar. La corrosión más frecuente siempre es de naturaleza electroquímica y resulta de la formación sobre la superficie metálica de multitud de zonas anódicas y catódicas; el electrolito es, en caso de no estar sumergido o enterrado el metal, el agua condensada de la atmósfera, para lo que la humedad relativa deberá ser mayor del 70% (fig. 2.1). El proceso de disolución de un metal en un ácido es igualmente un proceso electroquímico. La infinidad de burbujas que aparecen sobre la superficie metálica revela la existencia de infinitos cátodos, mientras que en los ánodos se va disolviendo el metal. A simple vista es imposible distinguir

entre una zona anódica y una catódica, dada la naturaleza microscópica de las mismas (micro pilas galvánicas). Al cambiar continuamente de posición las zonas anódicas y catódicas, llega un momento en que el metal se disuelve totalmente. (Soriano Rull y Pancorbo Floristán 2014)

1.4 Inhibidores de corrosión

Los inhibidores son sustancias que tienen la capacidad de desacelerar o detener una reacción química, por lo tanto, son sustancias que, al ser utilizadas en medios agresivos en bajas concentraciones, reducen la velocidad de corrosión de un metal que esté en contacto con dicho medio. La inhibición cubre un amplio campo dentro de las medidas anticorrosivas, pues se practican agregados de inhibidores en operaciones de limpieza de superficies tales como el decapado ácido; en aguas de enfriamiento de circuitos abierto o cerrado tales como condensadores, torres de enfriamiento y motores de combustión; en el vapor de calderas y otros equipos auxiliares en plantas de generación de vapor; durante la manufactura, transporte y almacenaje de productos metálicos tales como laminados, tubos, entre otros del mismo tipo. Los efectos de los inhibidores se manifiestan como una modificación de las características de la interfase, sin embargo, no hay una coincidencia total en cuanto a la selección de la propiedad básica que se utilice como referencia para su clasificación. (Cabrera 2006)

1.4.1 Inhibidores orgánicos

Existe una amplia gama de compuestos orgánicos que se constituyen como inhibidores de corrosión. Se caracterizan por ser de carácter mixto, es decir, capaces de inhibir la reacción catódica y anódica de manera simultánea. El mecanismo de inhibición puede ser atribuido a la adsorción de una capa, probablemente del espesor de una monocapa como máximo, la cual bloquea el desarrollo de las reacciones. Preferentemente se utilizan en medios ácidos. Además del proceso de adsorción física, se configuran uniones químicas covalentes (adsorción química) entre la molécula del inhibidor y el metal. Se puede comprobar debido a que el requisito común para que una sustancia orgánica actúe

como inhibidor, es que presente uno o más grupos fuertemente polares. Las características propias del metal también intervienen en el fenómeno, por tal motivo se ha visto, por ejemplo, que la tiourea puede funcionar como inhibidora para el aluminio, pero no tiene efecto en el zinc, y resulta contraproducente frente al ataque sobre el cadmio.(Cabrera 2006)

1.4.2 Ejemplos de aplicación de inhibidores orgánicos

En el volumen 9 de la revista de ingeniería química, en el artículo titulado “Protección contra la corrosión mediante el empleo de inhibidores”, se menciona que el empleo más corriente es en el decapado ácido de metales, inhabilitando la acción corrosiva del ácido, por medio de incorporación de inhibidores orgánicos a la solución. El decapado ácido tiene como función, eliminar las incrustaciones de óxido luego del laminado en caliente, o para la preparación de superficies para posteriores procesos técnicos, los cuales pueden consistir en pintado, recubrimientos metálicos, entre otros.

Sus efectos son:

- Evitar pérdidas de material.
- Evitar el consumo innecesario de ácido.
- Evitar los perjuicios sobre el personal y el ambiente en general dado que los gases (hidrógeno) arrastran una apreciable cantidad de agua saturada de ácido.
- Evitar la probabilidad de ampollamiento del metal debido a la fragilidad por hidrógeno.
- Evitar un excesivo aumento de la rugosidad superficial que podría obligar a una operación de pulido adicional muy costosa.(Cabrera 2006)

1.4.3 Tipos de inhibición

Al tener en cuenta el carácter electroquímico de la corrosión acuosa, se puede lograr una reducción de la velocidad de corrosión a través de los siguientes mecanismos:

- **Inhibición anódica:** Se caracteriza por una polarización de la reacción parcial anódica, la cual reduce la corriente de corrosión y desplaza el potencial hacia valores más positivos. Si desplaza el potencial hacia la zona de pasividad del metal se le denomina “pasivante”.
- **Inhibición catódica:** Puede ser la consecuencia de dos efectos posibles, siendo el primero la disminución de la velocidad de la reacción catódica en sí, y el segundo la restricción de las especies reducibles en el cátodo, ya que selectivamente se precipita sobre esas áreas. Como resultado, el potencial se desplaza hacia valores más negativos, disminuye la corriente de corrosión por un aumento de la polarización en la reacción catódica.
- **Inhibición Mixta:** Puede resultar con frecuencia, que el inhibidor modifique ambas curvas, de manera simultánea haciendo que el desplazamiento del potencial de corrosión sea pequeño o nulo (el sentido del desplazamiento dependerá de la relación de intensidad de los efectos catódico y anódico) (Cabrera 2006)

1.4.4 Mecanismo de inhibición de corrosión

Algunos autores investigados para realizar este estudio, indican que los efectos inhibidores de corrosión en los metales al tener contacto con un entorno agresivo, que en este caso fue el medio ácido con el ácido clorhídrico (HCl), denotan su efectividad a través de la formación de una capa protectora atribuida a la adsorción de las moléculas tanto de la

pectina como de la amilopectina (contenida en el almidón), lo cual se explica por la polaridad del metal y de las moléculas de oxígeno que cuando se atraen y reaccionan producen el efecto de corrosión. En una variante de este experimento, se indica que, a mayor temperatura, los inhibidores presentan mejores resultados.

Otra razón por la cual se explica la eficiencia de estos biopolímeros inhibidores, es debido a su característica morfológica molecular de gran tamaño, que contiene más heteroátomos, los cuales son los responsables de dar la factibilidad de adsorción con el metal.

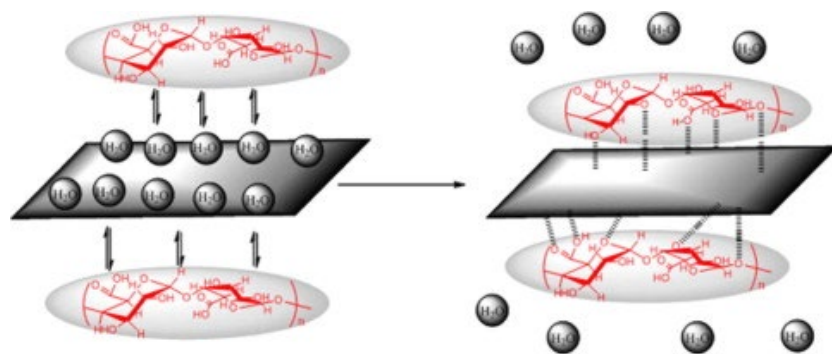


Figura 1.2. Explicación de adsorción en placa

Fuente: FARES, M.M., MAAYTA, A.K. y AL-QUDAH, M.M., 2012.

La creación de esta capa protectora adsorbida, permite disminuir considerablemente la velocidad de la reacción catódica, y restringe al mismo tiempo el suministro de especies reducibles en la zona catódica del metal, ya que en estas áreas se produce una precipitación selectiva. Así, el potencial se desplaza a los valores más negativos.

Se aprecia también, como se describe en las generalidades teóricas de los inhibidores, que en este ensayo se generan procesos tanto de

adsorción física, como de adsorción química, en el cual se configuran uniones químicas covalentes entre las moléculas del inhibidor y del metal ensayado. Por tal motivo se confirma que participan las características propias del metal en estos fenómenos.

1.5 La Patata como fuente de compuestos orgánicos

La investigación parte de una intención de reutilizar un desecho orgánico producido en grandes cantidades a nivel mundial. La corteza de patata es una potencial fuente masiva de extracción de subproductos como la celulosa, almidón, pectina, entre otros elementos que ayudan a crear y mejorar de manera ecológica, los productos ya existentes en la industria.

La reducción de volumen de este desecho, que es utilizado para su incineración con fines de generación energética en muy pocas partes del mundo, podría extender su ciclo de vida, siendo que la patata de por si es un producto consumido en grandes cantidades.

La economía de este producto inicia con la agricultura, en su cultivo y distribución. En gran cantidad es entregada sin mucho tratamiento a restaurantes o industrias donde procesan un lavado y extracción de la cáscara para comercializarse con algún valor agregado, como la reducción del tiempo en corte específico para ciertas recetas de consumo diario, o la combinación con otros productos vegetales.

Desde ahí, la acumulación y desecho de este residuo podría generar una nueva fuente de negocio, como la producción de nuevos materiales o mejora de existentes, resaltando que es un desecho orgánico y se pretende disminuir masivamente el consumo y producción de materiales sintéticos en un futuro cada vez más cercano.

Ampliar, con el fin de cerrar el círculo del ciclo de vida de la patata, desde la perspectiva de un uso referido a un componente específico como lo son el almidón y la pectina en este estudio, es uno de los objetivos que más peso tiene nuestra investigación, al darle la importancia e interés público y científico que lleva consigo.

La patata (**Solanum Tuberosum**), es un tubérculo comestible proveniente de las regiones montañosas de Los Andes, en América del Sur. En los últimos años, se ha ubicado en el cuarto lugar de los cultivos alimentarios más distribuidos del mundo, siendo los primeros el maíz, el trigo y el arroz.

Las patatas son cultivadas en más de 125 países, y se consideran un alimento básico internacional. China es el mayor productor en el mundo, con al menos cinco millones de hectáreas instaladas para el cultivo.

Existen alrededor de 5 mil variedades, clases o tipos de patata en todo el mundo. De estas, al menos 3 mil se encuentran sólo en Los Andes (Colombia, Ecuador, Perú, Chile y Bolivia). La producción global de cultivos de patata supera los 300 millones de toneladas. Y más de la mitad de esta producción, proviene de los países en desarrollo.

La pasada década, los avances en el sector mundial de la patata fueron dominados por el crecimiento del consumo de patatas procesadas congeladas. Son cuatro los países que tienen un sector significativo de patatas procesadas congeladas: Países Bajos, Bélgica, Canadá y Estados Unidos. Juntos, exportan más del 80% de todas las patatas procesadas congeladas. El rendimiento por hectárea de estos países supera las 40 toneladas. (ARGENPAPA 2019)

Si partimos de un análisis específico de los residuos generados por industrias como la de las patatas procesadas congeladas, podemos calcular a grosso modo, que el porcentaje de residuo que le pertenece a la corteza de esas

patatas, será de un 12% a 14%, lo que representa un aproximado de 5 toneladas de residuo por cada hectárea cultivada.

Este resultado, siendo un caso optimista, representaría un uso óptimo de la pulpa de la patata para la producción. De este modo, en la actualidad esos residuos se han utilizado, dependiendo el país, en plantas de tratamiento donde se lo quema para generar energía calórica, o simplemente como desecho orgánico.

En ambas circunstancias se genera algún tipo de contaminación para gestionar el residuo, por lo que se ha considerado dar un aprovechamiento optimizado a las propiedades y componentes de la patata, los cuales están presentes también en la corteza que desechan este tipo de industrias.

Existen, además, en países como China, industrias dirigidas a la obtención específica de subproductos de la patata como el almidón y la celulosa, ya que son productos utilizados en varias otras industrias, tanto alimenticias como de productos de papelería y sustitutos de los plásticos. Estos utilizan por prioridad y calidad, a la pulpa de la patata con el fin de obtener la mayor cantidad de subproducto que pueda contener el tubérculo. De este modo, generan otro volumen importante de desecho de corteza y pulpa de patata, que puede ser dirigido a los mismos objetivos del presente estudio.

Con este trasfondo del uso parcial de la patata, hemos planteado una propuesta de investigación, que funciona como detonante de más estudios enfocados en la industrialización del proceso de aprovechamiento de los residuos como la corteza y/o pulpa de la patata, pudiendo así extender el ciclo de vida de esta materia prima, y convertirla en un nuevo negocio industrializado que vaya de la mano con la tendencia a recurrir a alternativas de componentes ecológicos para productos ya existentes que son necesarios para cumplir funciones que hasta ahora se han obtenido a partir de componentes sintéticos.

1.5.1 Pectina

Las pectinas o sustancias pécticas constituyen un grupo de polisacáridos ricos en ácido galacturónico y, en menor medida, ramnosa, arabinosa y galactosa. Al igual que en otros grupos de polisacáridos de pared, la definición de pectinas es operativa y se basa en la extracción de la fibra (previamente delignificada) con 9 soluciones acuosas de un agente quelante o bien, extracción con una solución ácida diluida (en ambos casos la extracción se realiza en caliente).(Pagan i Gilabert 1999).

Las pectinas están ampliamente distribuidas en todo el reino vegetal. Son un componente esencial de las paredes celulares de las plantas dicotiledóneas y también se hallan presentes, aunque en menor grado, en las monocotiledóneas. En las primeras, las pectinas constituyen el componente principal de la lámina media de la pared primaria.(Pagan i Gilabert 1999)

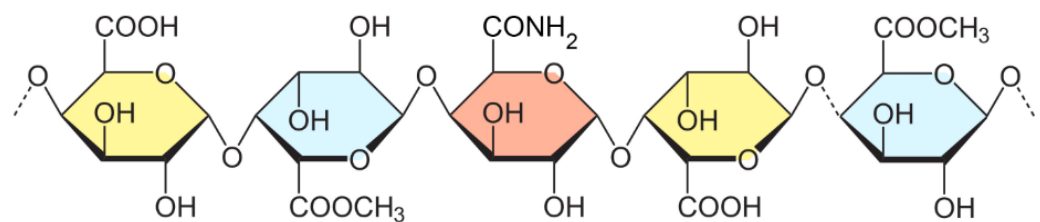


Figura 1.3. Estructura química de la pectina

Fuente: Pagan I Gilabert, 1999

1.5.2 Almidón

Estructuralmente, el almidón consiste en dos polisacáridos químicamente distinguibles:

- **Amilosa:** Polímero lineal de unidades de glucosa. Esta molécula no es soluble en agua
- **Amilopectina:** Polímero ramificado de unidades de glucosa. Parcialmente soluble en agua caliente y en presencia de yodo produce un color rojizo violeta.(Apaza Pucamayo y Guzman Coarita 2018)

Los almidones nativos de las diferentes especies de vegetales tienen como característica fundamental que sus propiedades fisicoquímicas y funcionales estarán influenciadas por sus estructuras granular y molecular. Las propiedades más importantes a considerar para determinar la utilización del almidón en la elaboración de alimentos y otras aplicaciones industriales incluyen:

Las fisicoquímicas

- Gelatinización
- Retrogradación

Las funcionales

- Solubilidad
- Hinchamiento
- Absorción de agua
- Sinéresis
- Comportamiento reológico de sus pastas y geles.

Los gránulos de almidón se encuentran en un sistema polimérico semicristalino, donde la cristalinidad varía de 15 a 45%, y es atribuida a las cadenas cortas lineales de la amilopectina, que forman dobles hélices organizadas en una estructura cristalina tridimensional. Durante el proceso de gelatinización, el orden molecular dentro de los gránulos es destruido gradual e irreversiblemente, por esto la temperatura de

gelatinización es característica para cada tipo de almidón y depende fundamentalmente de la transición vítrea de la fracción amorfa del almidón. Algunos eventos ocurren durante el proceso: el orden molecular, y por lo tanto la birrefringencia, se pierde; los gránulos pierden su cristalinidad, absorben gran cantidad de agua, provocando el hinchamiento y un aumento en su volumen. (Hernández-Medina et al. 2008)

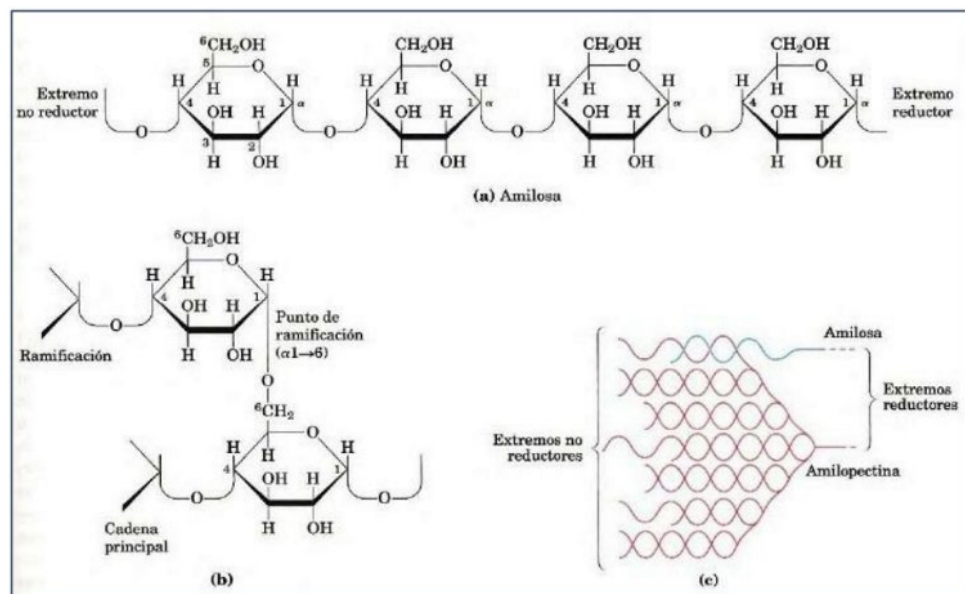


Figura 1.4. Estructura química del almidón

Fuente: Hernández – Medina, 2008

1.6 Inhibidores orgánicos y su extracción - Estado del arte

En esta sección del capítulo, se presenta un breve resumen del estado último, en el ámbito de inhibidores orgánicos para el control de la corrosión ácida en metales; conjuntamente de procesos de ensayos experimentales de pectina y almidón, como potenciales inhibidores a la corrosión; asimismo se expone las investigaciones referentes a la obtención de la pectina y el almidón. Toda esta información científica, ha servido de punto de partida, para nuestra propuesta de trabajo de fin de master; pues se busca replicar dichos procesos experimentales adaptados a la aplicación de un monocapa protector a partir de los inhibidores

orgánicos (PC, PCP, PPP, ACP, APP), que se analizaran en esta investigación, además comprobar y corroborar nuestras conclusiones, en función de dichos estudios.

Extracción, estructura y propiedades emulsionantes de la pectina de la pulpa de patata. (Extraction, structure, and emulsifying properties of pectin from potato Pulp)

A partir de este artículo se obtuvo el método optimizado de extracción de pectina y almidón, ya que precisamente se evaluó el efecto de HCl, H₂SO₄, HNO₃, ácido cítrico y ácido acético, en el rendimiento de extracción de pectina, además de la estructura y las propiedades emulsionantes de las pectinas de patata. (Yang, Mu y Ma 2018)

“... Los resultados mostraron que el rendimiento más alto (14.34%) se obtuvo usando ácido cítrico, seguido de HNO₃ (9.83%), HCl (9.72%), H₂SO₄ (8.38%) y ácido acético (4.08%) ...”(Yang, Mu y Ma 2017,p.1)

Inhibición de la corrosión del acero dulce en solución de HCl por pectina (Corrosion inhibition of mild steel in HCl solution by pectin).

De este trabajo, se pudo conocer el método experimental para la preparación de las muestras y el medio corrosivo, además del proceso de comprobación, de la inhibición de la pectina en el acero, pues la investigación describe, la efectividad de la pectina como inhibidor ecológico de corrosión, para el acero en solución de HCl, además se expone la termodinámica de la adsorción y las reacciones electroquímicas, como mecanismos de comprobación de inhibición.(Fiori-Bimbi et al. 2015)

El rendimiento de inhibición de la corrosión de la pectina con ácido propil fosfónico y Zn^{2+} para el control de la corrosión del acero al carbono en solución acuosa (The corrosion inhibition performance of pectin with propyl phosphonic acid and Zn^{2+} for corrosion control of carbon steel in aqueous solution)

Este artículo sirvió para el desarrollo de la idea de ensayar al inhibidor orgánico como una ampliación de monocapa protectora, pues en su mayoría se realizan ensayos en la cual, la pectina actúa de inhibidor del medio ácido, es decir, se añadió a la solución con HCl, una cantidad de pectina; mientras que en el presente artículo se genera sobre la superficie del acero una película protectora con inhibidor ecológico; siendo este la pectina.(Prabakaran et al. 2015)

La pectina como inhibidor verde prometedora de la corrosión del aluminio en solución de ácido clorhídrico (Pectin as promising green corrosion inhibitor of aluminum in hydrochloric acid solution)

Este artículo "... describe el uso de un prometedora polímero ecológico verde de pectina, como inhibidor de corrosión exitoso en la superficie del metal de aluminio en medios ácidos. La eficiencia de inhibición primero aumentó linealmente hasta 2.0 g / L, y luego continúa con un aumento exponencial constante hasta alcanzar la meseta. La eficacia de inhibición máxima obtenida a 10 ° C usando una concentración de pectina = 8.0 g / L fue de ~ 91%..."; esta condición de proporcionalidad su busca corroborar en el presente trabajo, por lo cual se empleará, las mismas concentraciones, durante un proceso experimental. De este artículo también se obtuvo el método analítico gravimétrico para la determinación de la velocidad de corrosión.(Fares, Maayta y Al-Qudah 2012)

Conservación del material y mejora del revestimiento de la superficie con la mezcla de biopolímero de almidón-pectina: un camino hacia el verde
(Material conservation and surface coating enhancement with starch-pectin biopolymer blend: A way towards green)

La investigación destaca la efectividad de la mezcla de pectina y almidón, como potencial inhibidor de la corrosión, a través de mejorar las propiedades de recubrimiento de resina epoxi, aplicada en acero para protección a la corrosión ácida; de esta interpretación de información se pudo vislumbrar el potencial efecto inhibidor del almidón, por tanto, este fue uno de los aspectos que, direccionaron la investigación de nuestro trabajo de fin de master.(Y y Rao 2019)

Evaluación de la eficiencia inhibidora de corrosión de almidones de patata modificados en hierro fundido dúctil aplicado en agua potable (La Tomilla i)

En este trabajo se puso verificar el uso efectivo del almidón de patata como inhibidor de corrosión.(Apaza Pucamayo y Guzman Coarita 2018). La investigación estudió, la inhibición de la corrosión del hierro fundido dúctil, en una solución de agua potable, en presencia de dos especies obtenidas, a partir de la modificación físico-química del almidón de patata, las cuales se caracterizaron mediante técnicas de espectroscopia infrarroja FTIR. Los resultados revelaron que ambos almidones actúan principalmente sobre la cinética catódica. Además, se mostró que la eficiencia de ambas moléculas inhibidoras aumenta al incrementar el tiempo en solución.(Apaza Pucamayo y Guzman Coarita 2018)

2 MÉTODO EXPERIMENTAL DE OBTENCIÓN Y EXTRACCIÓN:

El presente capítulo describe el proceso experimental de obtención y extracción de pectina y almidón, tanto de la corteza como la pulpa respectivamente. Además, se describen todos los insumos, materiales y equipos, que fueron necesarios para dicho proceso.

Se debe enfatizar que el método experimental descrito ha tomado como referencia, la literatura consultada, la misma se expone brevemente en el capítulo uno de esta investigación, en el apartado de estado de arte.

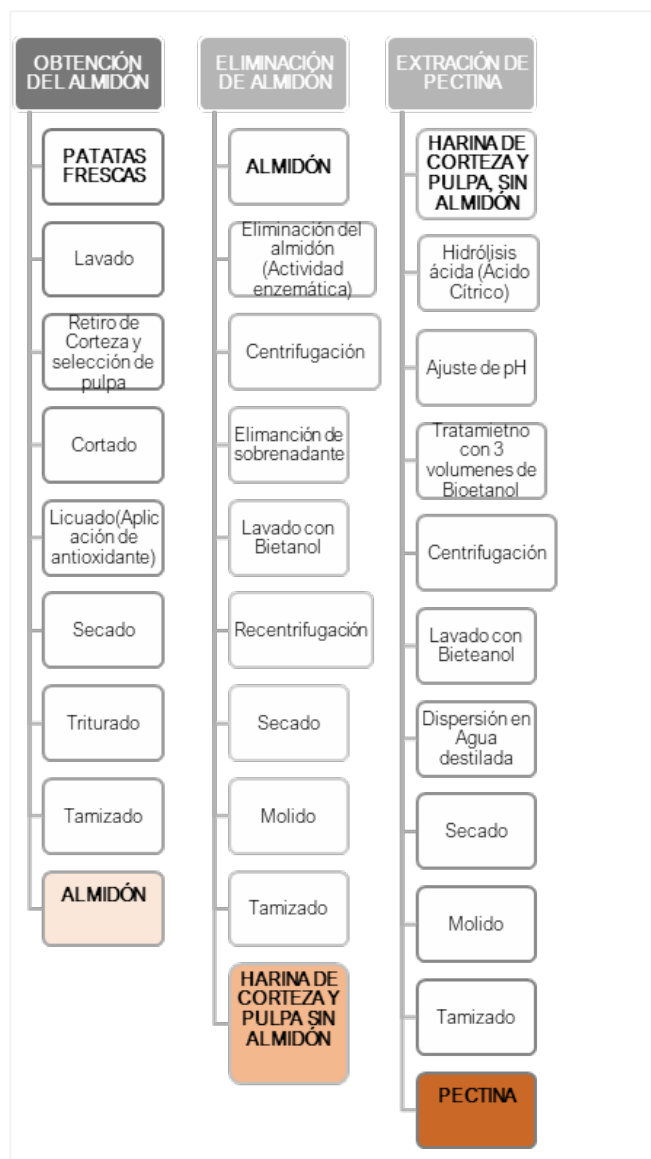


Figura 2.1. Esquema resumen, del proceso de obtención y extracción de pectina y almidón.

Fuente: Los autores

2.1 Insumos, Materiales y Equipos

En esta sección, se presenta los suministros, reactivos, insumos, materiales y equipos, empleados en el proceso de obtención y extracción del almidón y pectina de la corteza y pulpa de patata.

2.1.1 Materiales y Equipos de laboratorio

Tabla 2-1. Equipo de laboratorio

EQUIPO DE LABORATORIO	
PLACA DE PETRI	
VASO DE PRECIPITADO	
MATRAZ VOLUMÉTRICO	
BALANZA ANALÍTICA	
BALANZA DIGITAL	

AGITADOR MAGNÉTICO CON CALENTADOR IBX	
MEDIDOR DE TEMPERATURA Y HUMEDAD DIGITAL	
PH-METRO	
CÁMARA CLIMÁTICA	
CENTRIFUGADORA	
MORTERO DE LABORATORIO	

2.1.2 Pectina Comercial

Se debe puntualizar, que el uso de **pectina comercial**, no interviene en el proceso de obtención de pectina y almidón, sin embargo, será empleado de referencia; para la posterior comparativa; en cuanto a efectividad como inhibidor a la corrosión se refiere, con la pectina y almidón de patata obtenido; pues se estima que la pectina comercial, por su proceso de obtención

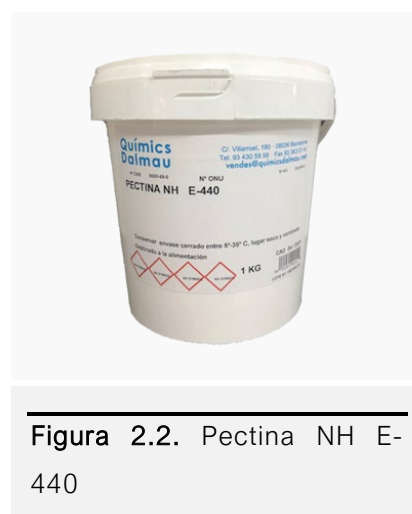


Figura 2.2. Pectina NH E-440

industrializado, podría disponer de mejores resultados de inhibición.

La pectina comercial extraída de cáscara de manzana (PECTINA NH E-440); fue adquirida de Quimics D.A.L.M.A.U., S.L.; esta se empleó en los procesos de ensayo conforme su presentación original, es decir no se alteró en absoluto la misma, para la comprobación de sus propiedades como inhibidor orgánico.

2.1.3 Pintura Antioxidante

Conforme al proceso de ensayos de inhibidores orgánicos, se consideró pertinente efectuar una comparativa correspondiente, entre el inhibidor orgánico, cuyos resultados hayan alcanzado mayor efectividad; y un protector anticorrosivo industrial; con el propósito de contrastar el grado alcance y efectividad de los mismos frente a una aplicación fabricada para dicho fin.



Figura 2.3. Pintura Antioxidante.

Tabla 2-2. Datos Técnicos pintura

Tamaño de partícula	12-22 micras/ Fino / S1 Fino	EN 21524
Datos técnicos adicionales		
Rendimiento teórico	8-10m²/L - 9-11 m²/kg a 45µm secas	EN-ISO 23811
Densidad	1,16 - 1,22 g/ml	EN ISO 2811-1
Sólidos en volumen	48-50%	ASTM D 2196-10
Blancura Berger	80-82	EN ISO 23811

2.1.4 Patata

Las propiedades de la patata empleada, para la obtención y extracción de pectina y almidón, son descritas a continuación, la información fue tomada del Consejo Regulador de la Indicación Geográfica Protegida Patata de Galicia:

Tabla 2-3. Características de la Patata empleada en el ensayo

CARACTERÍSTICAS DE LA PATATA		
VARIEDAD	Kennebec, es una patata blanca de maduración media a tardía	
FORMA DE LOS TUBÉRCULOS	Redonda a oval. Presencia de ojos muy superficiales.	
CALIBRE	45-80 mm	
PIEL	Lisa y fina de color amarillo claro.	
COLOR DE LA PULPA	Blanco	
PRODUCTOR	Patatas Conde	

2.1.5 Ácido cítrico

El ácido empleado para la extracción de pectina de la corteza y pulpa de patata, fue el ácido cítrico, pues este en función a la literatura consultada, es el ácido más eficiente, en comparación a otros empleados para el mismo fin, como al ácido acético y el propio ácido clorhídrico.



Figura 2.4. Ácido cítrico (E330)

El ácido cítrico(E330); fue adquirido de Quimics D.A.L.M.A.U., S.L.; esta se empleó conforme su presentación original, es decir no se alteró en absoluto su presentación pectina, durante la experimentación.

2.1.6 Alfa amilasa

Los restos de almidón, presentes en tanto en la corteza como en la pulpa de patata, fueron excluidos, mediante actividad enzimática, para ello se empleó Alpha amilasa (CAS RN: 9000-90-2 – 650unit/g), la cual fue adquirida del fabricante TCI.



Figura 2.5. Alfa Amilasa

2.1.7 Metabisulfito sódico

El metabisulfito sódico, fue empleado para retrasar el proceso natural de oxidación de la patata, posterior al retiro de su corteza.

El Metabisulfito sódico(E-223); fue adquirido de Quimics D.A.L.M.A.U., S.L.; la misma fue usada acorde su presentación original, por tanto, no se alteró la misma, durante su uso en la experimentación.



Figura 2.6. Metabisulfito sódico(E-223)

2.2 Extracción de almidón de corteza y pulpa de patata

Se tomó aproximadamente un 1.5kg, de patatas frescas¹, las cuales se sometieron a un proceso de lavado con agua potable sin jabón, a fin de eliminar posibles restos de impurezas y tierra adherida a la patata, cuidando de no maltratar la corteza y pulpa en el proceso, acto seguido se retiró la corteza, por medio de un pelapatata, a fin de garantizar su uniformidad.



Figura 2.7. Corteza de patata y Pulpa de patata

Las cortezas y pulpa, aproximadamente 175g(fig. 2.6) y 1300g(fig. 2.6) respectivamente, se lavaron nuevamente con agua potable; se procedió a dividirla en pedazos más pequeñas, para posteriormente licuar con agua destilada (1: 1, p / v)(fig.4.4); se estimó incorporar a la mezcla metabisulfito de sódico al 0.05%(p/V), con el objeto de evitar la rápida



Figura 2.8. Mezcla de la corteza y la patata (1: 1, p / v), con agua destilada

¹ Kennebec, es una patata blanca de maduración media a tardía

oxidación de la misma, finalmente se dispuso la mezcla, en bandejas esparciéndola de forma homogénea, ya que es necesaria su deshidratación total, por lo cual se introdujo en la cámara climática(fig. 2.8) durante 12 horas a una temperatura de 60°C y humedad relativa del 20%.



Figura 2.10. Corteza y pulpa deshidrata, respectivamente

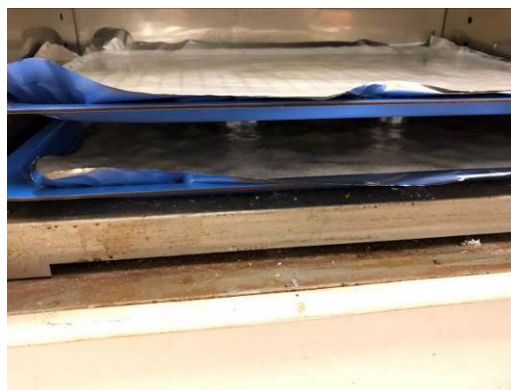


Figura 2.9. Proceso de deshidratación en cámara climática

La corteza y pulpa totalmente seca (fig. 2.9), fue retirada de las bandejas e introducida por separado, en un mortero con pistilo (fig. 2.11), para el respectivo molido de la misma.



Figura 2.11. Triturado de pulpa en mortero

El resultante de ello fue cribado con un tamiz de malla **ASTM 80 (ISO 0.18mm)**, de este proceso, se alcanzó finalmente **35g** de una harina de corteza y **170g** de pulpa enteramente homogénea; sin embargo, aún existe presencia de almidón

residual en su contenido; por tanto, es necesario eliminar esta y otros elementos presentes en la harina, para la correcta obtención de la pectina.



Figura 2.12. Harina con almidón de corteza(marrón) y almidón de pulpa(blanca)

2.3 Eliminación de Almidón

Se tomó 10 gramos de almidón de corteza y 60 gramos de pulpa de patata, estos se disolvieron en agua destilada relación (1:30, p / v), a la par se **hidrolizó enzimáticamente** la disolución correspondiente, mediante el **uso de α -amilasa termoestable** (100 μ L / g)², por un periodo de 30 min a 95°C con la ayuda de un agitador magnético con calentador. La solución resultante se recogió y dejó enfriar a temperatura ambiente; posteriormente para separar el material insoluble; se centrifugó³ durante 10 minutos a 3500 rpm.

² Actividad enzimática fue de 700 KNU; fabricante) a pH 6.25 \pm 0.02, 95 ° C.

³ Características de la centrifugadora.



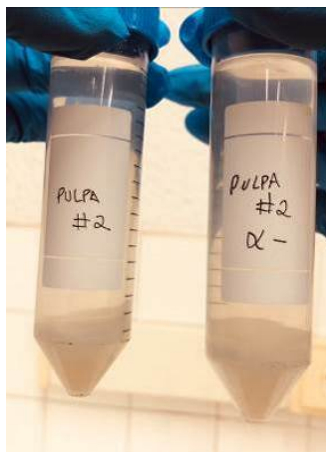
Figura 2.14. Preparación para la hidrólisis enzimática



Figura 2.13. Actividad Enzimática, tanto de la corteza como la pulpa, a la espera del proceso de centrifugación



Figura 2.15. Lavado del precipitado con Bioetanol



Finalmente se retiró por completo el sobrenadante (fig. 2.15), en el cual está parte del almidón residual, el restante aun presente en el precipitado; fue necesario lavarlo una vez con bioetanol al 85% (v/v), y nuevamente centrifugarlo durante 10 minutos a 3500 rpm; repitiendo el procedimiento anterior se

eliminó el sobrenadante, y se dispuso, ha secado el precipitado final durante 8 horas en la cámara climática a 50°C y 20% de humedad relativa; obteniendo una pulpa de corteza y pulpa de patata seca, estas fueron molidas y subsiguientemente tamizada con malla **ASTM 40 (ISO 0.425mm)**, dando resultado 4g de harina de corteza y 4g de pulpa de patata, libre de almidón.



Figura 2.16. Proceso de centrifugación, para retirar el sobrenadante

Considerando
que se partió de
10g de almidón
de corteza y 60g
pulpa
respectivamente,
es destacable el
alto contenido de
almidón presente
en la pulpa, de
ahí su reducción
de 60g a 4 g,



Figura 2.17. Harina de pulpa(blanca) y corteza(marrón), libre de almidón

mientras que para la corteza de 10g se redujo a 4g, pese a ello aún existen otros
elementos a parte de la pectina, que requieren ser eliminados, por tanto, se
empleara la harina de corteza y pulpa de patata libre de almidón, como punto de
partida para la obtención de la pectina, por medio de hidrólisis ácida.

2.4 Extracción de la pectina

La extracción de pectina, de la harina de corteza y pulpa de patata sin almidón respectivamente, fue extraída por medio del proceso de múltiples etapas de hidrólisis ácida, seguida de precipitación con bioetanol; se empleó el ácido cítrico ($C_6H_8O_7$)⁴ como catalizador.

2.4.1 Hidrólisis ácida

La hidrólisis ácida es la descomposición o alteración de una sustancia química, en la cual se emplea un ácido prótico⁵ con adición de agua, para catalizar la ruptura de su enlace químico, en la cual se genera una reacción de sustitución rica en electrones

2.4.2 Descripción de proceso

Se tomaron 4g de almidón y se disolvieron en agua destilada en la relación (1:15, p / v), ajustando a la par, el pH de la disolución, a **pH 2.04** \pm **0.02**, a través del ácido cítrico; la solución resultante fue mezclada y calentada durante 60 minutos a 90°C, en el agitador magnético con



Figura 2.18. Hidrólisis ácida, con ajuste de pH, con ácido cítrico

⁴ Ácido cítrico(E330)

⁵ El ácido empleado para la extracción de pectina de la corteza y pulpa de patata, fue el ácido cítrico, pues este en función a la literatura consultada, es el ácido más eficiente, en comparación a otros empleados para el mismo fin, como al ácido acético y el propio ácido clorhídrico.

calentador, posteriormente esta mezcla fue centrifugada por 30 min a 3500 rpm. El precipitado a continuación, fue tratado con 3 volúmenes de bioetanol absoluto, durante 12 horas en refrigeración a 4°C.

En consecución a esto, se recolectaron el precipitado de pectina, por medio de centrifugación durante 15min a 3500rpm; seguido de un meticuloso proceso de lavado con bioetanol al 70% (v / v), 80% (v / v) y 90% (v / v) y su Recentrifugación (10min) respectiva.

El precipitado de pectina es dispersado en agua destilada en la relación (p / v), luego fue secado en la cámara climática durante 14 horas a



Figura 2.19. Proceso de lavado con bioetanol y recentrifugado



Figura 2.20. Pectina de pulpa y corteza, dispersada en agua destilada

40°C y 20% de humedad relativa para, por último, moler y tamizar en malla ASTM 80 (ISO 0.18mm), obteniendo finalmente a partir de la corteza **2.75 gramos** de pectina mientras que de la pulpa de **patata 1.5 gramos** de pectina.

2.4.3 Eficiencia de extracción de la pectina

El rendimiento de pectina (% base húmeda) se estimó en función de la relación entre lamasa de pectina seca (W_p) obtenida y la masa de harina de corteza y pulpa de patata sin almidón, es decir posterior al tratamiento enzimático (W_e):

$$\text{Rendimiento de pectina (\%, base húmeda)} = \frac{W_p}{W_e} * 100\% \quad (2.1)$$

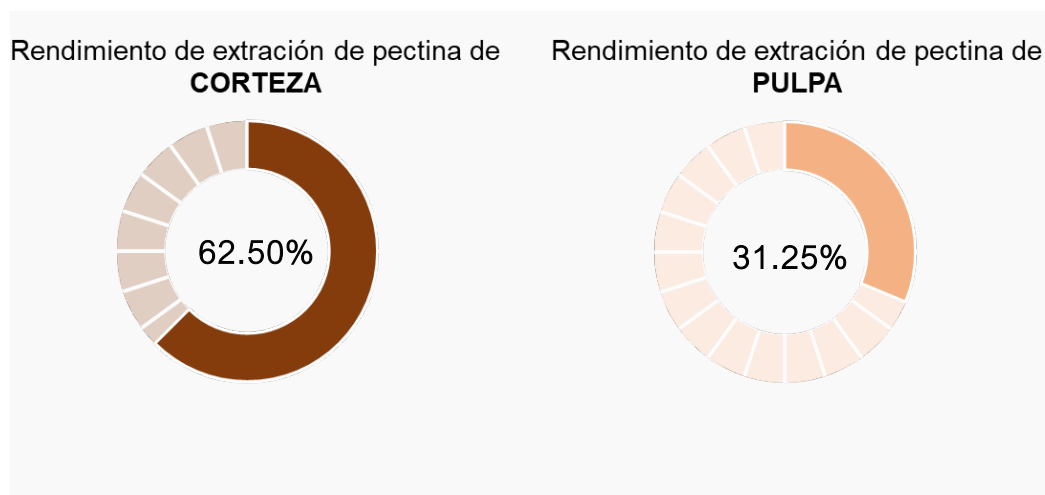


Figura 2.21. Rendimiento de extracción de PECTINA

En consecuencia a la relación anterior; el porcentaje de rendimiento de extracción de pectina fue aproximadamente del 68.75%, es decir, cerca

de 4 gramos de harina de corteza de patata sin almidón se obtuvo 2.75 gramos de pectina, cabe añadir que se obtuvo un total de 35g de harina de corteza, de 175 g de corteza retirada de 1.5kg de patata fresca.

En cambio, el rendimiento de pectina de la pulpa de patata, fue significativamente menor, cuyo rendimiento alcanzó 37.55%, pues de 4 gramos de harina de pulpa sin almidón se obtuvo 1.50 g aproximados de pectina, añadir también que se extrajo cerca de 170g de harina de pulpa, de 1300 g de pulpa, obtenida de 1.5kg de patata fresca.

3 TÉCNICA DE CARACTERIZACIÓN DE CORROSIÓN

En este capítulo se describe la caracterización experimental de la corrosión ácida por reactivo de HCl, en acero y aluminio; en la que se evalúa, las propiedades de la pectina y almidón extraídos de la corteza y pulpa de patata, así como también la pectina comercial, como potenciales inhibidores orgánicos, para el control de la corrosión ácida.

Además en este capítulo, se describe la metodología de comprobación del inhibidor ecológico la cual fue tomada de la literatura científica expuesta en el apartado de estado del arte referencial de esta investigación; dicho proceso de comprobación consiste, en el análisis gravimétrico y el estudio de examen de superficie; con los cuales se busca determinar, la eficiencia de inhibición, la velocidad de corrosión, y el reconocimiento morfológico y topológico de las placas de metal ensayadas, este último mediante microscopia electrónica de barrido, finalmente, los resultados posteriormente serán contrastados, además, de comparados entre sí; con el objeto de determinar el inhibidor más efectivo.

3.1 Insumos, Materiales y Equipos

3.1.1 Ácido Clorhídrico

El agente corrosivo empleado para el estudio, de la capacidad protección a la protección ácida, de los distintos potencialmente inhibidores analizados (PC, PCP, PPP, ACP, APP); fue el ácido clorhídrico (HCl)⁶ o también denominado ácido muriático, se adquirió de **Quimics**



Figura 3.1. Ácido Clorhídrico

⁶ El **tántalo** es el único metal que resiste al ácido clorhídrico en todo el rango de concentraciones y temperaturas, sin embargo, su alto costo limita su aplicación y alta demanda.(Andrade 1991)

D.A.L.M.A.U., S.L (Hydrochloric Acid 37%, PANREAC APPLICHEAM USP-NF, BP, Ph.Eur – PANREAC 1000ml). Es considerado dentro del grupo de los ácidos fuertes, junto al ácido sulfúrico y nítrico. Su bajo costo ha generalizado su aplicación en distintos ámbitos, desde desincrustante, para la eliminación de residuos de carbonato de calcio (CaCO_3), hasta para el tratamiento de decapado⁷ en metales, para posteriores procesos de galvanizado, extrusión entre otras.

3.1.2 Insumos de laboratorio

Agua destilada

Acetona

3.1.3 Material y equipo de Laboratorio

Placa de Petri

Vaso de precipitado

Matraz volumétrico

Balanza analítica

Balanza digital

Agitador magnético con calentador

Pipeteador de cremallera

Pipetas

Vaso de Precipitado de 30ml

Equipo SEM (JEOL JSM -6510 Scanning Electron Microscope)

⁷ **Decapado**, es un tratamiento superficial de metales, empleado para la eliminación de impurezas, como manchas, contaminantes inorgánicos, herrumbre (Capa de color rojizo, formada en la superficie del hierro y otros metales, causada por la oxidación por humedad o agua), y algunas aleaciones metálicas.

3.2 Proceso de comprobación de inhibición

Se describe en esta sección, el proceso de comprobación de inhibición, el cual se basa en los análisis gravimétricos, con los cuales se determinan la eficiencia de inhibición y la velocidad de corrosión. Así mismo, se realiza un examen de superficie, mediante microscopia electrónica de barrido (SEM), haciendo un reconocimiento morfológico y topológico de las placas de metal ensayadas. Los resultados posteriormente serán contrastados, además, de comparados entre sí; con el objeto de determinar el inhibidor más efectivo.

3.2.1 Análisis Gravimétricos

El análisis gravimétricos o gravimetría, consiste en un método analítico cuantitativo, el cual determina la cantidad de un elemento, mediante la medición de su peso, por lo que es imprescindible el uso de una balanza analítica, pues demanda exactitud y precisión. Esta información es empleada para el cálculo de eficiencia de inhibición, la velocidad de corrosión. (Fares, Maayta y Al-Qudah 2012),(Fiori-Bimbi et al. 2015)

3.2.1.1 Porcentaje Eficiencia de inhibición

La corrosión de las muestras de acero y aluminio, propiciada por la inmersión de ellos, en HCl 1 M, por consecuente, el grado de eficiencia inhibidora (PC, PCP, PPP, ACP, APP), es determinada por la diferencia de pérdida de masa, de la placa de acero, en contraste a la masa perdida por la placa con la aplicación del monocapa protector correspondiente.(Fares, Maayta y Al-Qudah 2012)

Por ello se establece la siguiente fórmula:

$$\textit{Eficiencia de inhibición} = \frac{W_0 - W_i}{W_0} \times 100$$

(3.1)

Donde:

W_0 = pérdidas de peso de corrosión de la lámina de metal, en ausencia de la solución protectora

W_i = pérdidas de peso de corrosión de la lámina de metal, en presencia de la solución protectora

3.2.1.2 Velocidad de corrosión (R_c)

La velocidad de corrosión en relación a la superficie (R_c), se calcula a partir de la siguiente fórmula:

$$\text{Velocidad de corrosión} \left(\frac{\mu m}{h} \right) = 10 * \left(\frac{W_b(mg) - W_a(mg)}{S(cm^2) * t(h) * \rho \left(\frac{g}{cm^3} \right)} \right)$$

(3.2)

Donde:

W_a = peso de la lámina de metal, después de estar sometida al ácido clorhídrico

W_b = peso de la lámina de metal, antes de estar sometida al ácido clorhídrico

S = área total de la lámina de metal expuesta (Información dispuesta en tabla 3.1)

T = Tiempo de exposición de la lámina de metal, en el ácido clorhídrico.

ρ = Densidad del material

Densidad del Aluminio 6061 T6 = 2.7(g/cm³)

Densidad del Acero F114 = 7.85(g/cm³)

3.2.2 Examen de superficie

Se realiza con la técnica de microscopia electrónica de barrido; buscando informaciones procedentes de la superficie de las probetas, a fin de determinar cambios morfológicos y topológicos superficiales, para ello se empleará el equipo ⁸ del Centro Científico y Tecnológico de la Universidad de Barcelona.

3.2.2.1 Microscopia electrónica de barrido (SEM)

La topología de la superficie de las muestras de metal, tanto antes de la inmersión de las mismas en ácido clorhídrico, como posterior a ello, en ausencia y presencia de la aplicación del monocapa protector, se efectúa con la técnica de microscopia electrónica de barrido; buscando cambios morfológicos y topológicos superficiales.(Fiori-Bimbi et al. 2015)

Por tanto, se realizará el análisis de 4 muestras constituidas por; una muestra sin protección inhibidora e inmersión en ácido; la segunda y tercera muestra consisten, en probetas que han estado sumergidas en HCl por 24 horas, con y sin la monocapa protectora correspondientemente; por último, la cuarta muestra será la lámina cuya superficie se ha aplicado la monocapa protectora de mayor eficiencia; esta condición aplica también a la tercera muestra.

Tipos de imagen (SEM)

Detector de electrones secundarios (SEI)

Es la señal más adecuada para la observación de la muestra por su mayor resolución, presenta una imagen en blanco y negro de la

⁸ El equipo empleado para el SEM (JEOL JSM -6510 Scanning Electron Microscope).

topografía de la superficie examinada. («Microscopia electrónica de barrido : Servicio de Microscopía Electrónica : UPV» 2019)

Detector de electrones retrodispersados (BEC)

Es una imagen de superficie de menor resolución que la obtenida por SE, sin embargo, es ventajoso debido a su sensibilidad a las variaciones en el número atómico de los elementos presentes en la superficie, por tanto, para una superficie totalmente lisa, se distinguirán distintos tonos de gris, mientras que en función de que existan varias fases con distintos elementos, se pintarán zonas más oscuras o negras.(«Microscopia electrónica de barrido : Servicio de Microscopía Electrónica : UPV» 2019)

3.3 Preparación de probetas

El tipo probeta metálica que se someterá a ensayo, fue determinada a través del software EduPack, con la cual, se establecieron los metales que se ven afectados por el ácido clorhídrico, pues este es el agente de corrosión ácida a tratar; por tanto las probetas consisten en láminas de aluminio 6061T6, acero F114, obtenidas del Taller mecánico de ETSEIB, cuyo formato fue de $25 \times 15 \times 1$ mm; se sometieron a un proceso de desgaste, con papel de lija grado 1000, a fin de facilitar la adherencia tanto para la monocapa de pectina, como la de almidón, de igual forma, se limpiaron con acetona, buscando desengrasar y eliminar restos de óxido superficial, finalmente la pieza fue sumergida en agua destilada, para eliminar los restos de acetona, posteriormente es secada la probeta en papel absorbente y almacenada en bolsas zip, hasta el instante del ensayo.

3.3.1 Formación la monocapa protectora.



Figura 3.2. Formación del monocapa protector

Fuente: FARES, M.M., MAAYTA, A.K. y AL-QUDAH, M.M., 2012.

La solución que configura el monocapa protector se ajusta a 2 condicionantes, la matriz o inhibidor a ensayar, los cuales son 3, *pectina comercial*, *pectina obtenida de la patata* y *almidón derivada de la patata*⁹; y la concentración de la solución, pues se estableció 3 concentraciones distintas, concernientes a 2g/L, 4g/L y 8g/L; con ello se busca analizar el grado eficiencia de inhibición, en relación a la concentración de la solución, y el tipo de inhibidor.

3.3.1.1 Preparación del monocapa

La solución inhibidora fue preparada, a partir de la concentración más alta, el resto de ellas, se obtuvieron por medio de disoluciones en serie o progresivas, por tanto se partió de la concentración 8g/L, tomando 0.48g de soluto(PC, PCP, PPP, ACP, APP), respectivamente se añadieron 59.42g de agua destilada como solvente, la solución resultante se sometió a agitación continua, para mejorar la solubilidad, por medio de un agitador magnético con calentador, durante 1 hora y a 50°C; este

⁹ La pectina y el almidón fueron extraídos tanto de la corteza, como de la pulpa de la patata.

proceso culminó en una solución transparente algo viscosa, en la cual está completamente diluido el potencial inhibidor a evaluar.

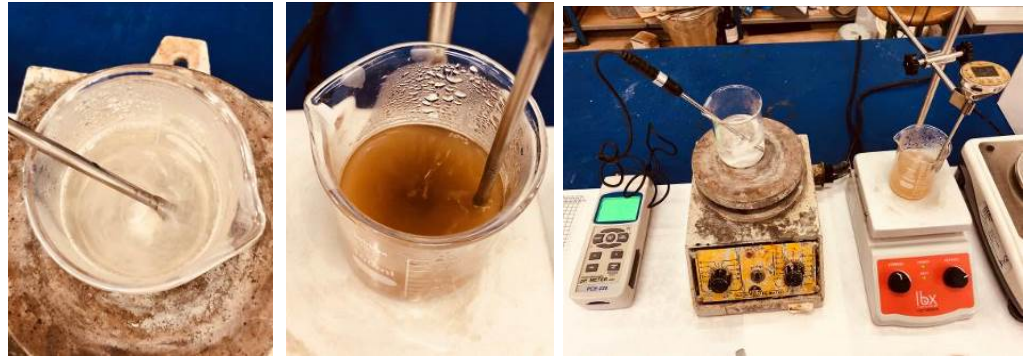


Figura 3.3. Preparación de la solución de concentración mayor (PC, PCP, PPP, ACP, APP), para posteriores disoluciones en serie

Parte de la solución final, se transfiere aproximadamente 30ml a vaso de precipitados, donde estará almacenado, a la espera de su enfriamiento a temperatura ambiente, para su posterior aplicación en las probetas respectivas.

Los 30ml restantes (solución de concentración 8g/L), son empleados para realizar la disolución en serie, y elaborar la solución de concentración de inhibidor de 4g/L; para ello se añadió 30ml de agua destilada; seguida de una agitación durante 30 min a 50°C, garantizando su apropiada mezcla, 30 ml de la solución lograda de concentración 4g/L, es también vertida y guarda en el vaso precipitado, para su uso previo.

Finalmente, el restante de la solución anterior (30ml aprox., concentración 4g/L), es empleado, para la elaboración de la última disolución con concentración de 2g/L; repitiendo del mismo modo el procedimiento último, 30 minutos de agitación a 50°C, y posterior disposición final.

Las respectivas soluciones elaboradas, bajo las distintas condiciones: tipo de inhibidor y concentración, son acopiadas a la espera de su correspondiente enfriamiento pues serán empleadas una vez hayan alcanzado temperatura ambiente.

3.3.1.2 Aplicación del monocapa

La aplicación consiste en la adición una capa inhibidora, por tanto, las probetas de metal de acero y aluminio fueron sumergidas por separado, en 10 ml, de la solución protectora, durante 1 minuto a 18°C aprox., posteriormente se extrajo la lámina de la solución, y se dispuso en una malla metálica galvanizada, en posición vertical, con el propósito de lograr un secado uniforme a lo largo de toda la superficie de la muestra. Este proceso fue idéntico, para las distintas placas sumergidas en su correspondiente solución protectora de diferente concentración



Figura 3.4. Aplicación del monocapa protector (PC, PCP, PPP, ACP, APP)

3.3.1.3 Pesado y codificación de probetas.

Para la comprobación de cada proceso de análisis de eficiencia de inhibición evaluados a lo largo de la investigación, fue indispensable emplear una balanza analítica rango, hasta la diezmilésima de gramo: (0,0001 g o 0,1mg), pues se provee que las pérdidas de masa por efecto del ácido sean incluso de decimas de miligramo.

Se tomó la masa de cada una de las placas metálicas, registrado hasta la diezmilésima de gramo, esta captura de dato se ejecutó en dos fases: la primera, el peso de la placa con la aplicación de la monocapa protectora; la



Figura 3.5. Codificación de muestras

segunda fase, se recoge el peso de la misma placa, posterior a la etapa de 24h de inmersión en ácido clorhídrico, a la que previamente se ha sido lacada y secada adecuadamente.

La codificación mostrada en la tabla inferior responde a la necesidad de clasificar apropiadamente cada muestra, pues si han manejado más de 200 probetas, además se describe las dimensiones de las mismas, a efectos de los cálculos correspondientes a la velocidad de corrosión.

Tabla 3-1. Sistema de codificación de muestras

MATERIAL	DIMENSIONES	CODIFICACIÓN	NÚMERO DE MUESTRA	MUESTRA	EJEMPLO
Aluminio 6061 T6	30mm x 20mm Espesor 2mm	Al (Símbolo de la tabla periódica)	1 a 50 (ensayo 1) 50 a 100 (ensayo 2)	Al XX	
Acero F114	30mm x 20mm Espesor 1.5mm	F (Por el tipo de material)	1 a 50 (ensayo 1) 50 a 100 (ensayo 2)	FXX	

3.4 Preparación de medio corrosivo ácido.

La solución corrosiva ácida, conforme a la literatura analizada, se estableció usar una concentración de 1M de HCl, esta fue elaborada a partir de 34 ml de HCl al 37%(12M), al cual se añadió 366 de agua destilada como solvente; para conseguir 400ml de solución, la mezcla se ejecutó en un matraz volumétrico, con tapón hermético, la manipulación del ácido se resolvió con pipetas de laboratorio



Figura 3.6. Preparación del medio ácido

3.4.1 Aplicación del medio corrosivo ácido.

La solución diluida de HCl, fue dispuesta en volúmenes de 15ml, en placas de Petri¹⁰; posteriormente se introdujo de las placas metálicas, cada una en petris diferentes, tanto para las muestras con la aplicación del mono capa protector, como las carentes de ella.

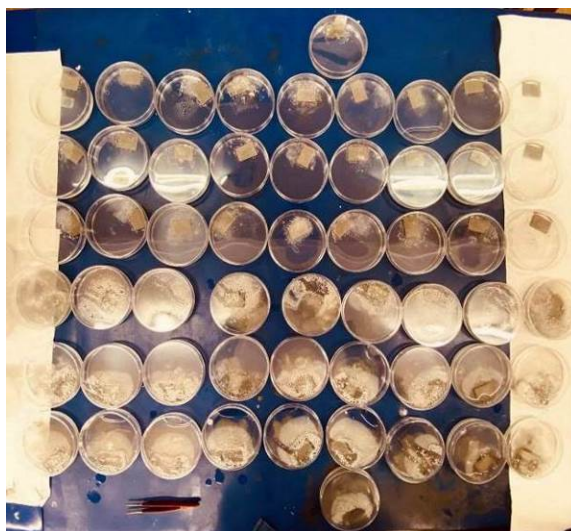


Figura 3.7. Inmersión de muestras en el ácido clorhídrico

¹⁰ Recipiente redondo, plástica, de cierre no hermético

El tiempo, al cual estuvo expuesto las muestras al HCl, fue de 24h, en condiciones de laboratorio de 19^a- 20°C y 54% de humedad relativa.

3.4.2 Toma de Datos

Culminado el tiempo de ensayo se retiraron una a una las piezas de metal, seguido de varios lavados y posterior secado minucioso, con agua destilada y papel absorbente individualmente, por último, se tomó el peso de cada pieza, para su posterior comprobación de pérdidas de masa por efecto del agente corrosivo.



Figura 3.8. Muestras retiradas del HCl y secadas, previas a la toma de peso posterior a la inmersión

4 DISCUSIÓN Y RESULTADOS

En este capítulo se presenta, los resultados además de su correspondiente discusión inherente; obtenidos del capítulo anterior, en la cual se han estudiado la velocidad de corrosión, la eficiencia de inhibición de los inhibidores orgánicos valorados, **PC**, **PCP**, **PPP**, **ACP**, **APP**; finalmente se presenta las imágenes logradas, por la técnica de microscopía electrónica de barrido.

En la sección final de este capítulo se expone, la comparativa correspondiente entre el inhibidor orgánico, cuyos resultados hayan alcanzado mayor efectividad; y un protector anticorrosivo industrial, con el propósito de contrastar el grado alcance y efectividad de los mismos frente a una aplicación fabricada para dicho fin.

Es importante enfatizar que los ensayos experimentales, ejecutados durante la investigación, fueron repetidos en 3 ocasiones, con el objeto de constatar, además de verificar con rigor y solidez, la información alcanzada en cada uno de los estudios, por ello en las gráficas se constata el número de pruebas ejecutadas.

4.1 Velocidad de Corrosión

Los resultados se presentan conforme a la ampliación de la **ecuación 3.2**, descrita en el capítulo anterior; dichos resultados han sido organizados en función al inhibidor valorado, siendo estos **PC**, **PCP**, **PPP**, **ACP**, **APP**.

4.1.1 Pectina Comercial

La velocidad de corrosión del acero inmerso en HCl 1M durante 24h (fig. 4.1); alcanzó a reducirse aproximadamente entre el 70% y 80% como máximo evidenciando un control de ella, por efecto de la pectina comercial; dicha diferencia en la velocidad, de 1.25 μ m/h a 0.26 μ m/h, se explica, por el efecto que tiene la concentración de la solución

monocapa inhibidora (g/L – gramos de pectina comercial, por litro de agua destilada) aplicada en la muestra, por tanto existe una relación directamente proporcional, en la cual a mayor concentración de pectina, mayor es el retraso del efecto corrosivo del HCl, en la placa de acero.

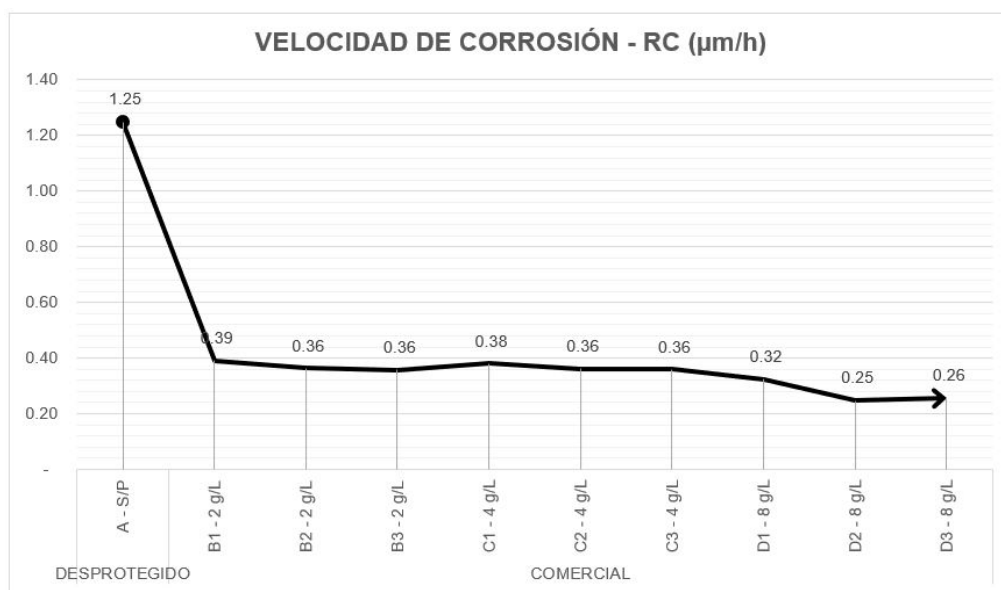


Figura 4.1. Velocidad de Corrosión Acero – Pectina Comercial

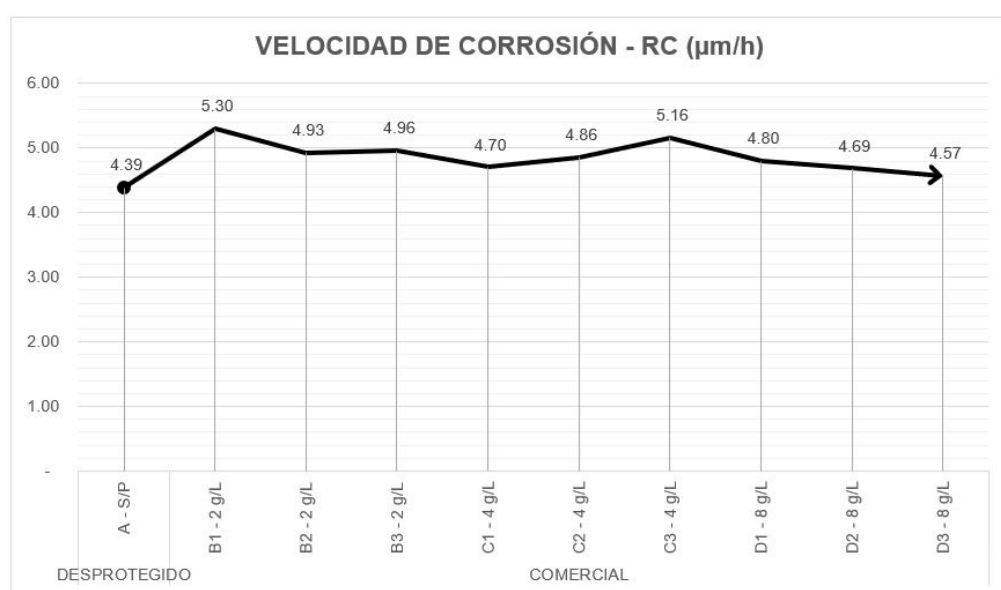


Figura 4.2. Velocidad de Corrosión Aluminio – Pectina Comercial

A diferencia del acero, la pectina comercial en el aluminio (fig. 4.2), no tuvo ningún efecto favorable, pues no se observó ninguna reducción de la velocidad de corrosión, registrándose incluso valores mayores, es decir aceleró su corrosión, por tanto, la pectina comercial no es adecuada, en el aluminio, pero si efectiva en el acero.

4.1.2 Pectina de Corteza

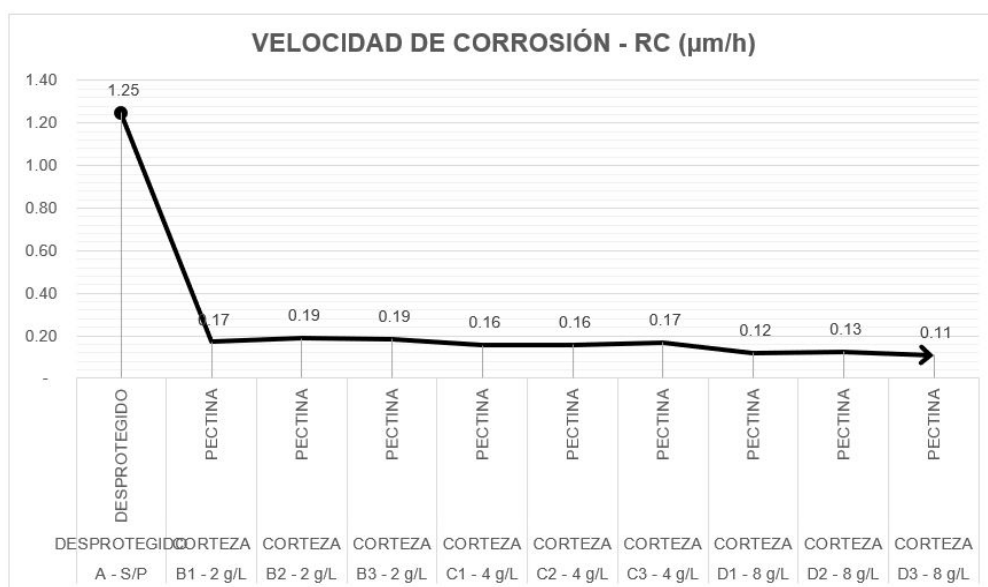


Figura 4.3. Velocidad de Corrosión Acero – Pectina Corteza de Patata

La corrosión en el acero por efecto del ácido (fig. 4.3), se redujo entre un 85% - 92%, registrando una reducción de la velocidad, mayor en comparación a la pectina comercial, no obstante, se mantiene la relación proporcional entre la concentración y el aumento, del retraso de la corrosión en la muestra, siendo la que mejor resultado alcanzo la concentración de 8g/L.

En cuanto al aluminio (fig. 4.4) se observa, a diferencia de la pectina comercial, que la pectina de corteza de patata si ayudo a reducir la

velocidad de corrosión, no a la proporción del acero, pues se registra un retraso entre 27% - 40%, sin embargo, pese que estos valores no son significativos en contraste a los alcanzados por el acero, si son drásticamente distinto, en balance de la pectina comercial señalada en el aparatado anterior.

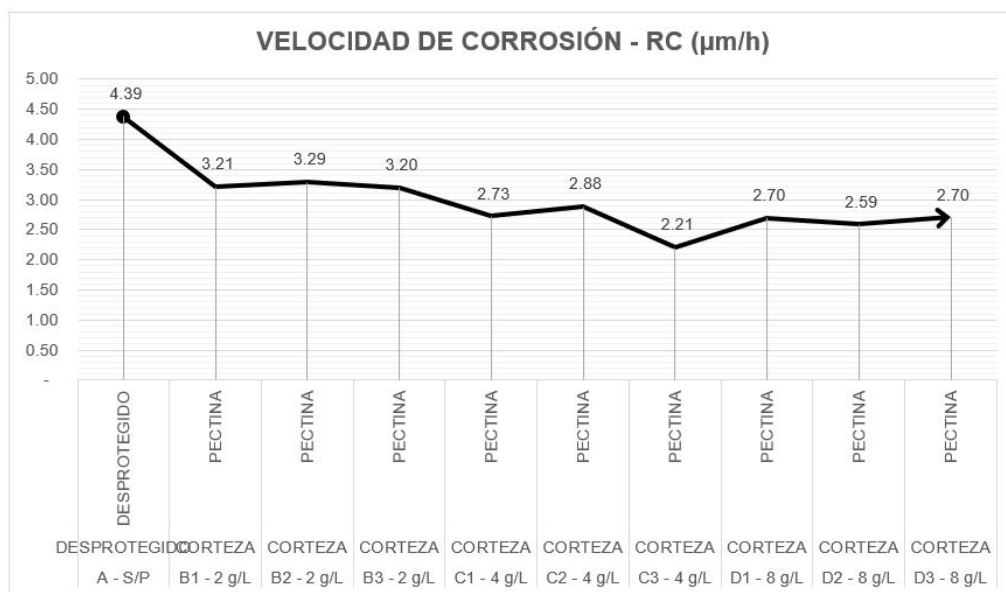


Figura 4.4. Velocidad de Corrosión Aluminio – Pectina Corteza de Patata

4.1.3 Pectina de Pulpa

La pectina de pulpa, empelada en la solución monocapa protectora en acero (fig. 4.5), tuvo un comportamiento casi idéntico a la pectina de corteza, siendo ligeramente inferior los rangos de reducción de la velocidad de corrosión, pues registro, entre el 81% - 90%, sin embargo, son registros considerablemente altos, por tanto es factible su aplicación como inhibidor, a efectos de reducir la velocidad de corrosión; además hay que destacar que cumplen la misma proporcionalidad que las pectinas anteriores, en la cual a mayor concentración mayor en la descenso de la celeridad corrosiva del ácido clorhídrico.

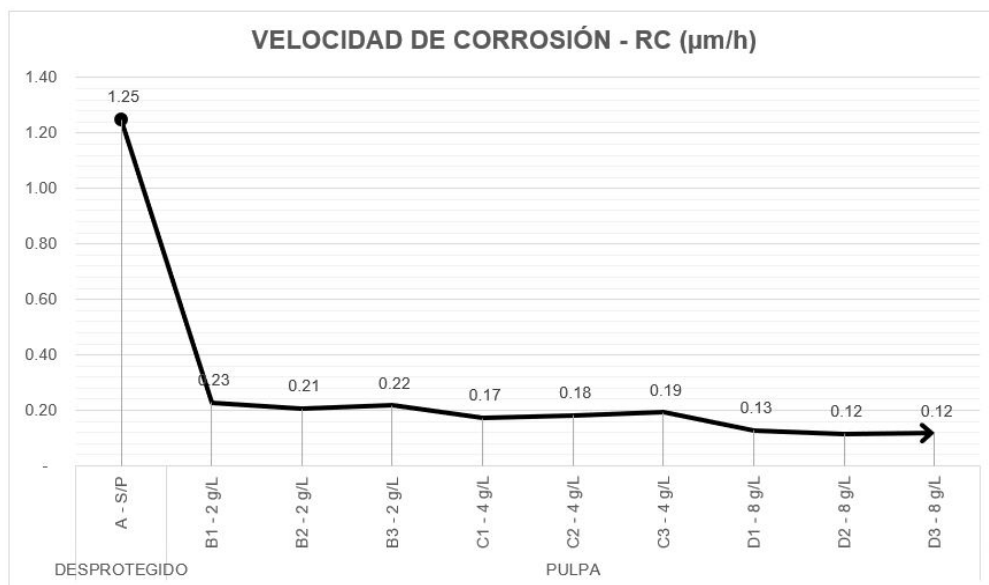


Figura 4.5. Velocidad de Corrosión Acero – Pectina pulpa de Patata

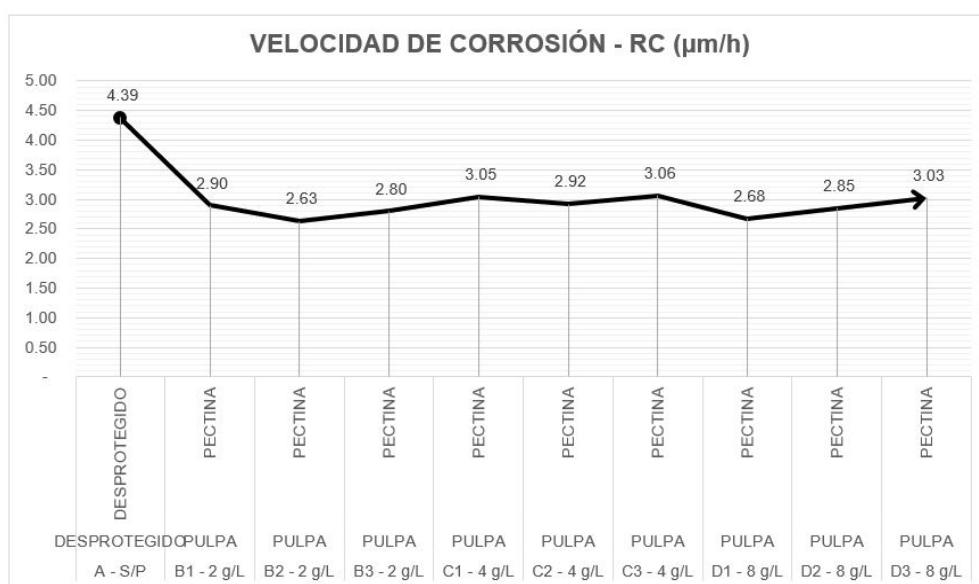


Figura 4.6. Velocidad de Corrosión Aluminio – Pectina pulpa de Patata

Conforme, lo muestra la gráfica 4.6, el comportamiento de la velocidad de corrosión en el aluminio, con el control de protección inhibidora de pectina de pulpa, un leve mejor comportamiento, en balance a la pectina de corteza, marcando descensos entre el 33% - 41%; no obstante, la

protección, es mayor en el acero, esta característica se cumple con todas las pectinas.

4.1.4 Almidón de corteza

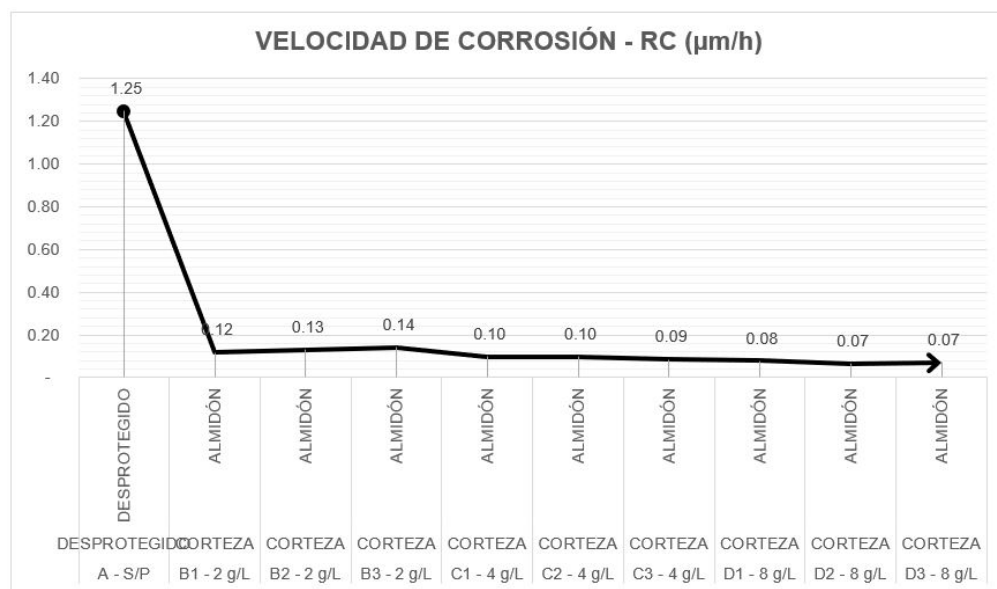


Figura 4.7. Velocidad de Corrosión Acero – Almidón corteza de Patata

El almidón de corteza de patata, en el acero (fig. 4.7) muestra el más alto descenso de velocidad de corrosión 90% - 94.4%, tanto para concentraciones bajas como altas, esto denota, un alto control de corrosión en el acero, a la inmersión en ácido clorhídrico 1M.

EL almidón de corteza de patata, en el aluminio (fig.4.8), tienen un comportamiento similar al de la pectina de pulpa y pectina de corteza, ya que registra reducción de velocidad entre 36% - 42%, lo cual es destacable si se observa los resultados obtenidos con la pectina comercial, los cuales se tornaron negativos, sin embargo, esta reducción, no es tan efectiva en el balance general, si contrastamos a los resultados de los mismos inhibidores en el acero.

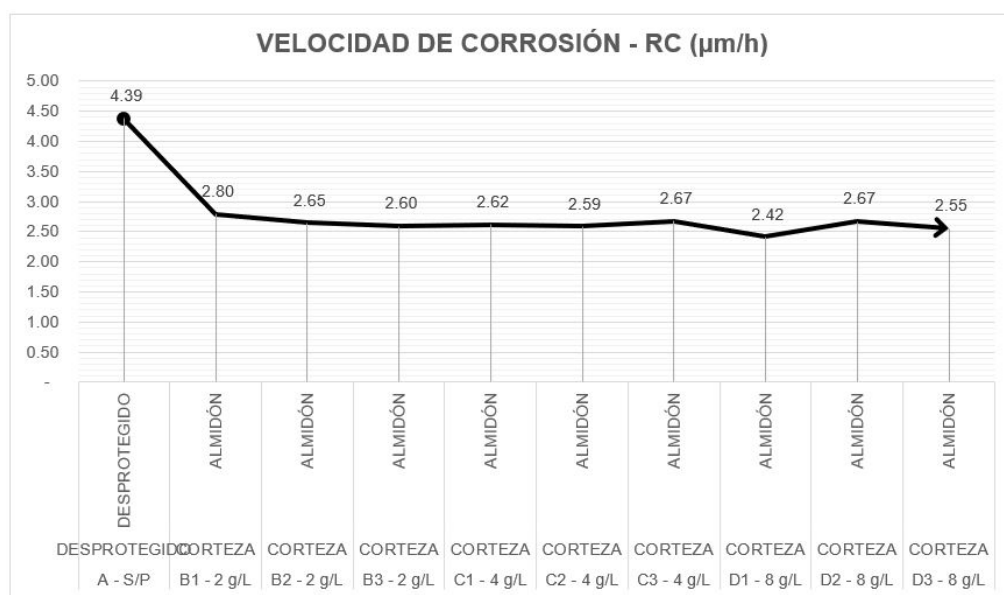


Figura 4.8. Velocidad de Corrosión Aluminio – Almidón corteza de Patata

4.1.5 Almidón de Pulpa

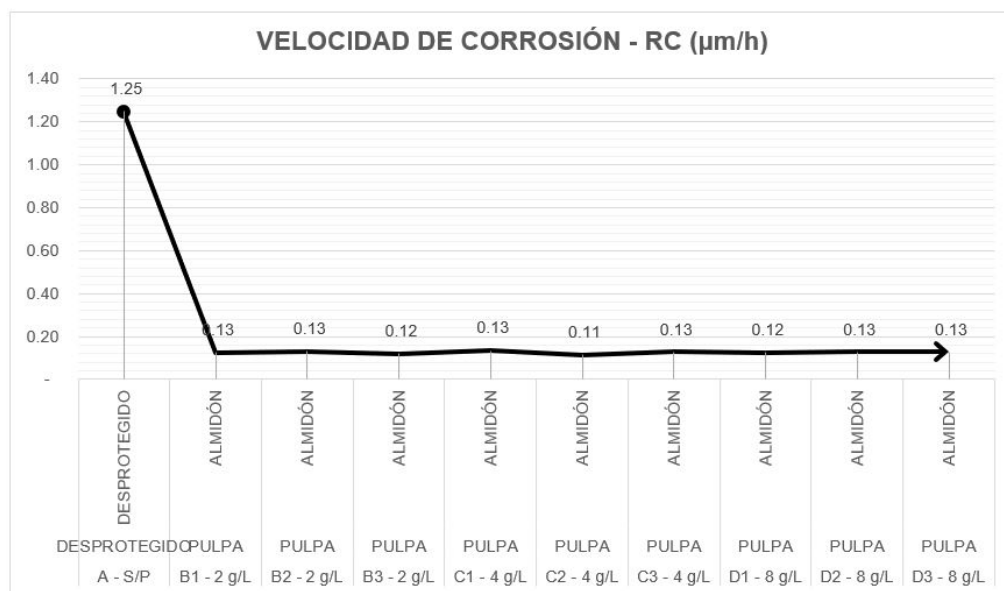


Figura 4.9. Velocidad de Corrosión Acero – Almidón pulpa de Patata

La velocidad de corrosión del acero inmerso en HCl 1M durante 24h (fig. 4.9); alcanza a reducirse aproximadamente entre el 90% y 91% como

máximo evidenciando un control de ella, por efecto del almidón de pulpa; dicha diferencia en la velocidad, fue de $1.25\mu\text{m/h}$ a $0.12\mu\text{m/h}$, no obstante, es interesante que el efecto que tiene la concentración de la solución monocapa inhibidora (g/L – gramos de almidón de pulpa, por litro de agua destilada) aplicada en la muestra, no presenta una relación directamente proporcional, pese a la diferencia de concentraciones de almidón, el retraso del efecto corrosivo del HCl, en la placa de acero, es constante en todas las concentraciones, identificándose muy pequeñas diferencias.

En el aluminio, el monocapa protector a partir de almidón de pulpa aplicado (fig. 4.10), muestra actuación ligeramente inferior al del almidón de corteza, debido que el descenso de la velocidad de corrosión, fue entre 35%-41%; incidiendo tenuemente, la concentración de la solución inhibidora en dicha reducción.

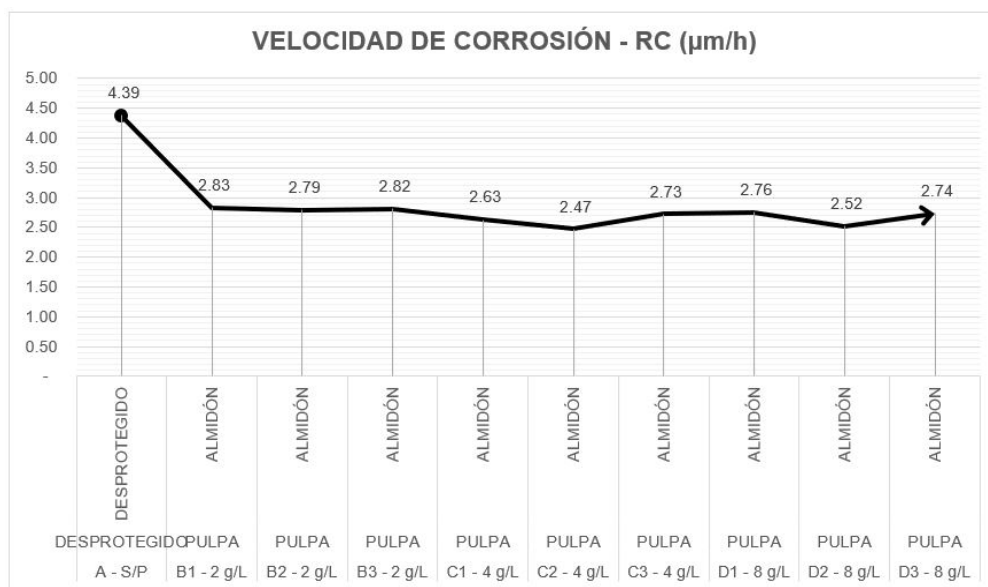


Figura 4.10. Velocidad de Corrosión Aluminio – Almidón pulpa de Patata

4.2 Eficiencia de inhibición

Los resultados se presentan conforme a la ampliación de la **ecuación 3.1**, descrita en el capítulo anterior; dichos resultados han sido organizados en función al inhibidor valorado, siendo estos **PC, PCP, PPP, ACP, APP**.

4.2.1 Pectina Comercial

Con respecto a la eficiencia de inhibición de la Pectina Comercial, aplicada en el acero inmerso en HCl 1M durante 24h; se puede apreciar que para la mayor concentración de la solución monocapa inhibidora (g/L – gramos de pectina comercial, por litro de agua destilada) aplicada en la muestra, expone un notable mejor efecto protector frente a la concentración más baja, e incluso la concentración intermedia presenta resultados inferiores. De estos resultados comparativos, se puede denotar que existe una relación directamente proporcional, en la cual, a mayor concentración de pectina, mayor es el retraso del efecto corrosivo del HCl, en la placa de acero.

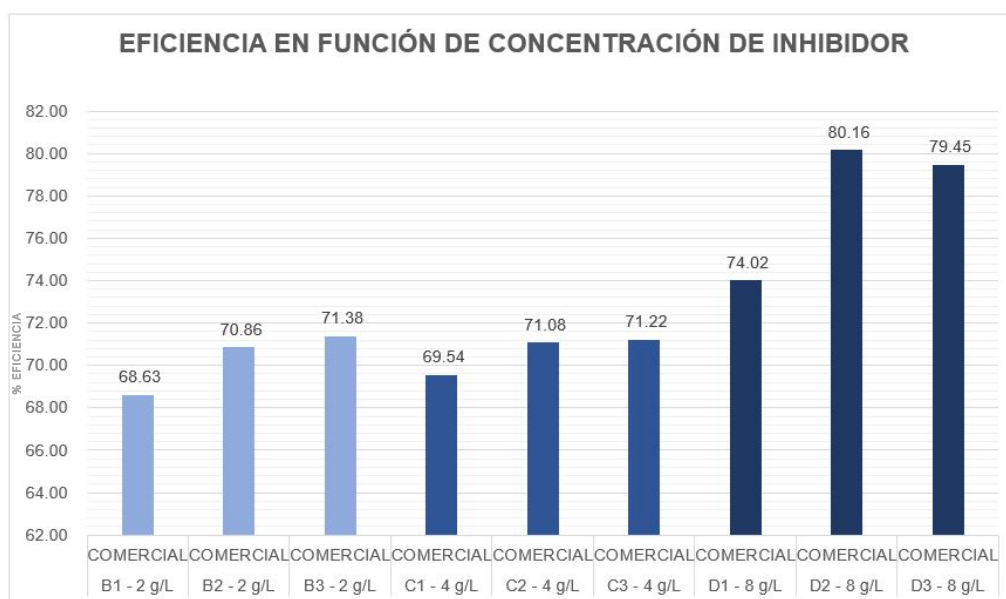


Figura 4.11 Eficiencia de Inhibición Acero – Pectina Comercial

Con respecto al aluminio, se puede notar que una baja concentración en la solución monocapa inhibidora provoca una reacción más agresiva del ácido frente a la placa. Mientras que a mayor concentración mantiene el efecto retrógrado, se aprecia que es menor y casi equitativo con la corrosión al natural de la placa.

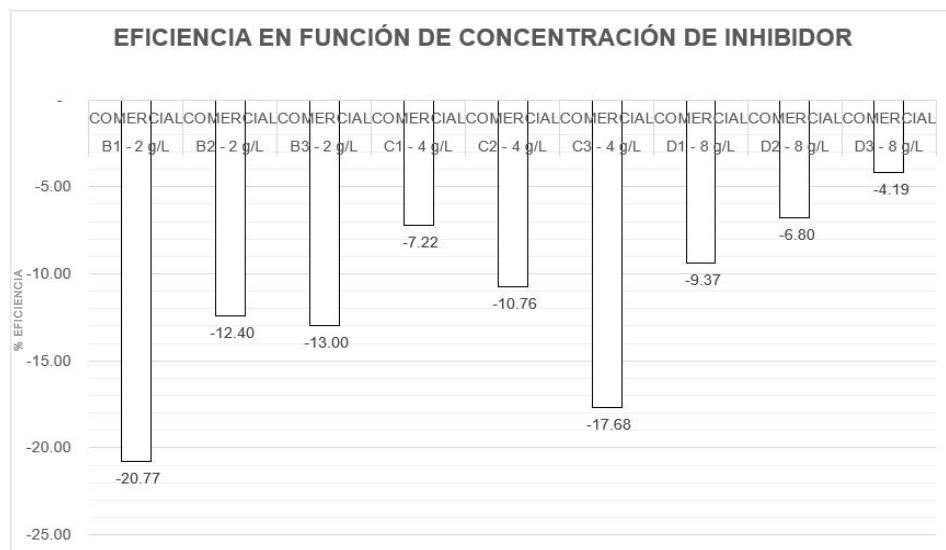


Figura 4.12 Eficiencia de Inhibición Aluminio – Pectina Comercial

4.2.2 Pectina de Corteza

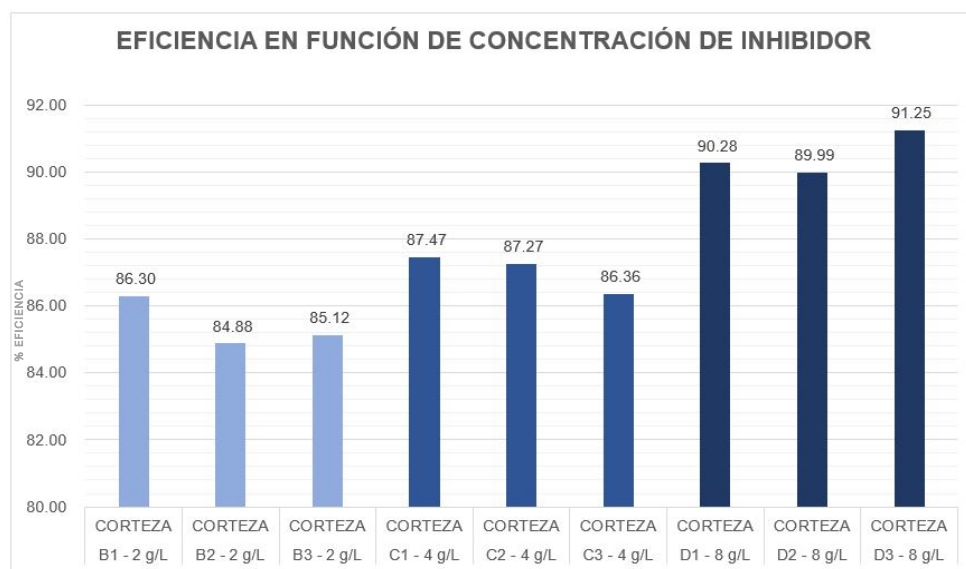


Figura 4.13 Eficiencia de Inhibición Acero – Pectina Corteza de Patata

La corrosión en el acero por efecto del ácido, fue protegida con una alta eficiencia por la solución inhibidora de concentración de 8 g/L. Se puede apreciar que, para este metal, la relación es directamente proporcional en cuanto a la eficiencia relacionada con la concentración del inhibidor ecológico.

Se puede apreciar, además, que no sólo es eficiente, sino que denota potencial en un uso frente a medios ácidos de mayor concentración, ya que el promedio más bajo obtenido fue de un 85%, lo cual en comparación a la pectina comercial es notablemente mayor.

En cuanto al aluminio se observa, que, pese a un ligero incremento de eficiencia frente a la concentración del inhibidor, la variación general no es muy significativa. De este modo se aprecia que la eficiencia de la pectina de patata en este metal es notable, pero no depende directamente de su concentración.

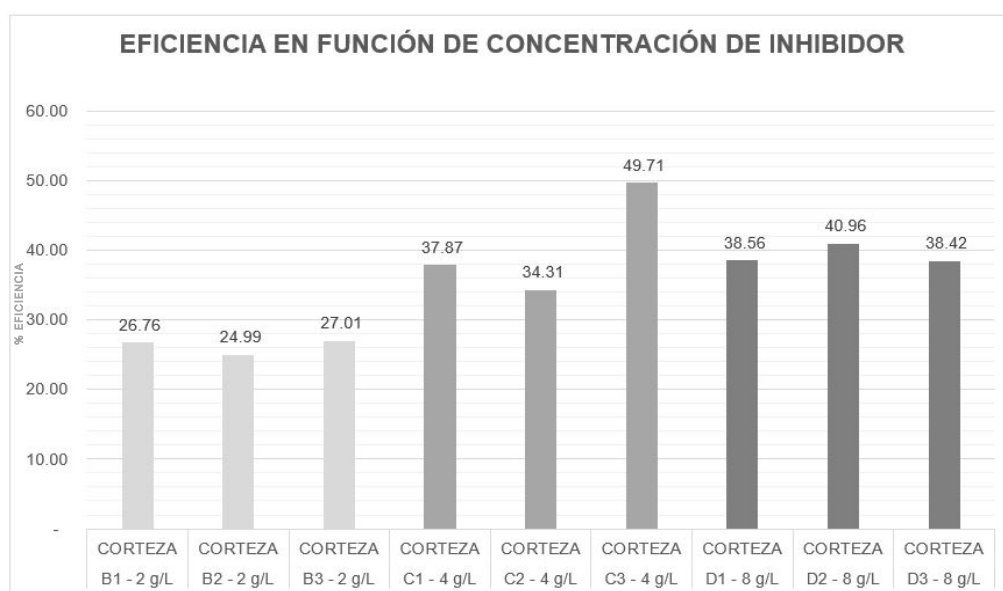


Figura 4.14 Eficiencia de Inhibición Aluminio – Pectina Corteza de Patata

4.2.3 Pectina de Pulpa

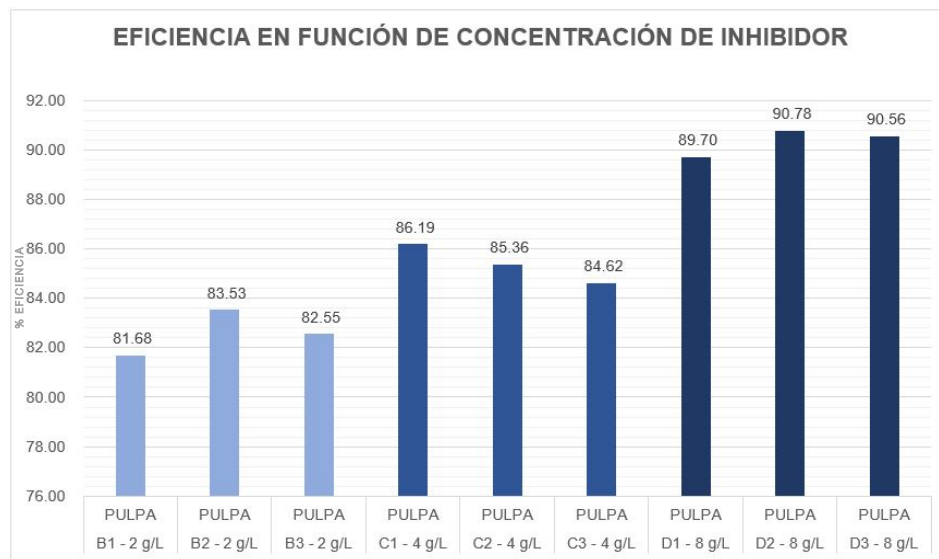


Figura 4.15 Eficiencia de Inhibición Acero – Pectina Pulpa de Patata

La pectina de pulpa, empelada en la solución monocapa protectora en acero, tuvo un comportamiento casi idéntico a la pectina de corteza, pero con respecto a valores límite se puede apreciar que tiene una menor eficiencia en cada concentración ensayada. De cualquier forma, al ser su valor promedio de eficiencia menor un aproximado de 82%, está demostrando que su potencial como inhibidor es elevado y cumple satisfactoriamente su función.

Conforme lo muestra la gráfica, la eficiencia promedio de inhibición de la pectina de pulpa de patata se comporta similar al de la corteza frente al aluminio. Destacando su funcionamiento de reducción de efecto corrosivo, pero no acorde a la concentración de la solución del inhibidor aplicada en la placa.

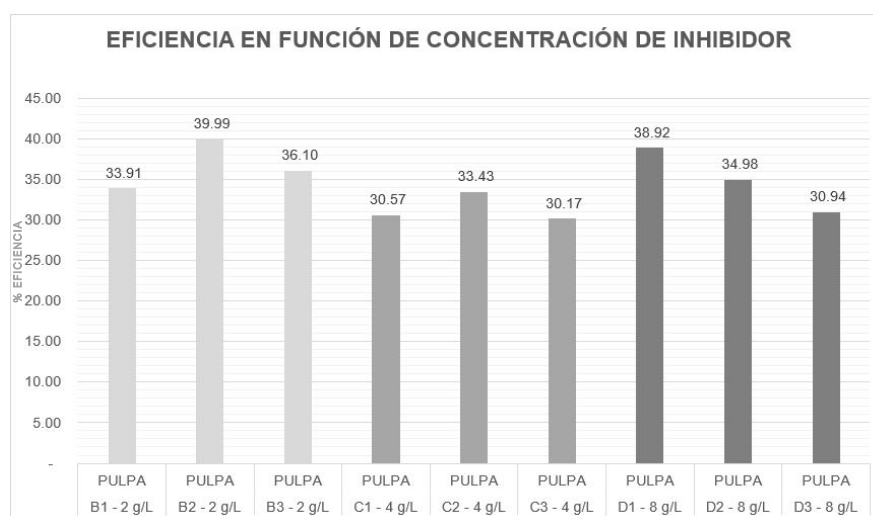


Figura 4.16 Eficiencia de Inhibición Aluminio – Pectina Pulpa de Patata

4.2.4 Almidón de corteza

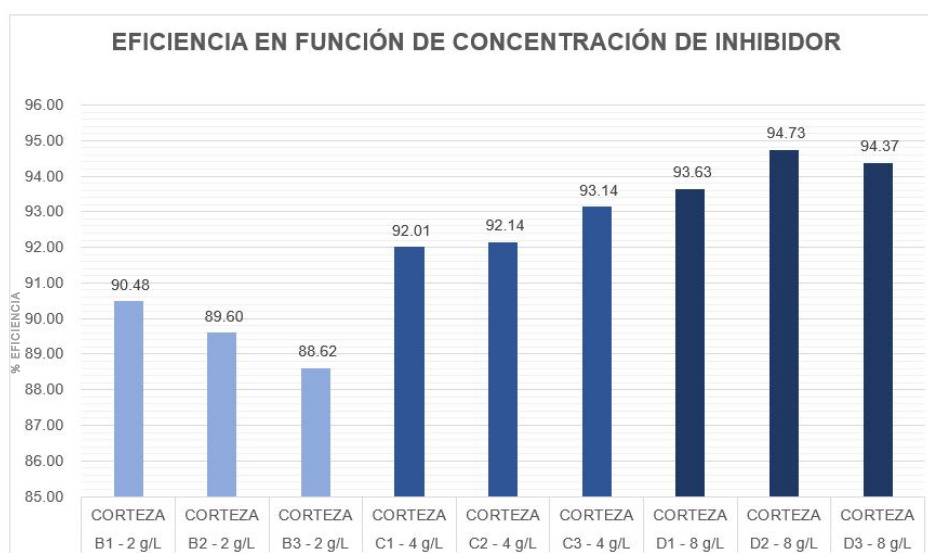


Figura 4.17 Eficiencia de Inhibición Acero – Almidón Corteza de Patata

En el caso del comportamiento de eficiencia de inhibición de las soluciones elaboradas con almidón, podemos apreciar nuevamente la relación directa entre la protección inhibitoria y la concentración utilizada para los ensayos de las placas. Es destacable, además, que en este caso

el promedio más alto de eficiencia alcanzado por la mayor concentración es de 94%, lo que indica de antemano que su reacción protectora frente al acero es potencialmente la mejor de las opciones que se ha ensayado en este proyecto.

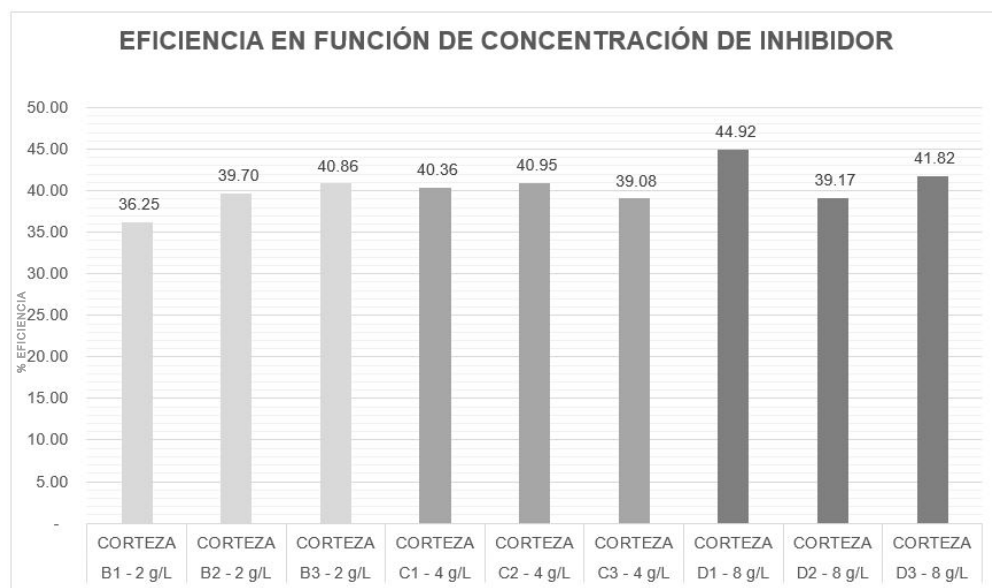


Figura 4.18 Eficiencia de Inhibición Aluminio – Almidón Corteza de Patata

Con respecto al aluminio se puede apreciar, que al igual que la pectina, el almidón demuestra su eficiencia inhibidora sin relacionarse directamente con la concentración del inhibidor aplicado. Siendo de todos modos un porcentaje considerable como aceptable, ya que el ensayo se realiza con el fin de simular un ataque acelerado y muy agresivo de un entorno ácido.

4.2.5 Almidón de Pulpa

Para el caso del almidón obtenido de la pulpa de la patata, se puede apreciar que contrario al almidón de su corteza, su eficiencia inhibidora es siempre alta, pero no se relaciona directamente con la concentración.

Alcanzar casi siempre un 90% de eficiencia es otro aspecto destacable de esta alternativa de inhibición, ya que al igual que la pectina demuestra un gran potencial para ser ensayada y utilizada en medios más agresivos.

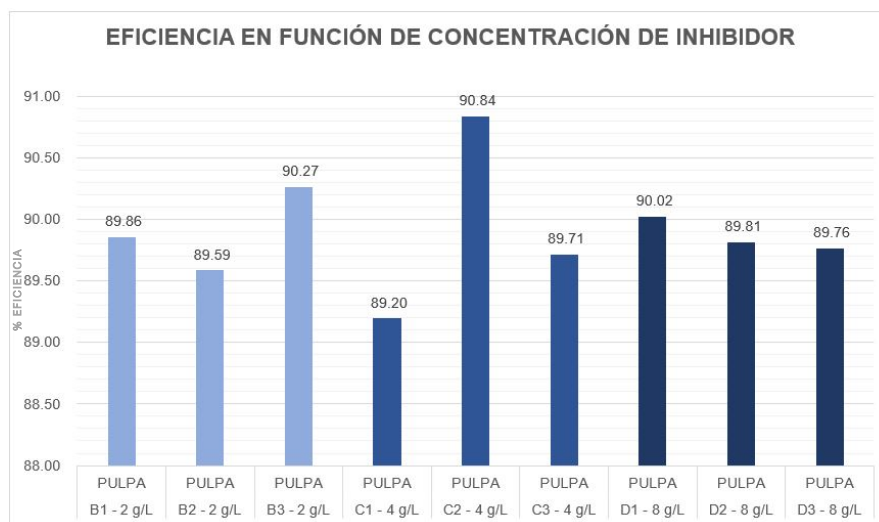


Figura 4.19 Eficiencia de Inhibición Acero – Almidón Pulpa de Patata

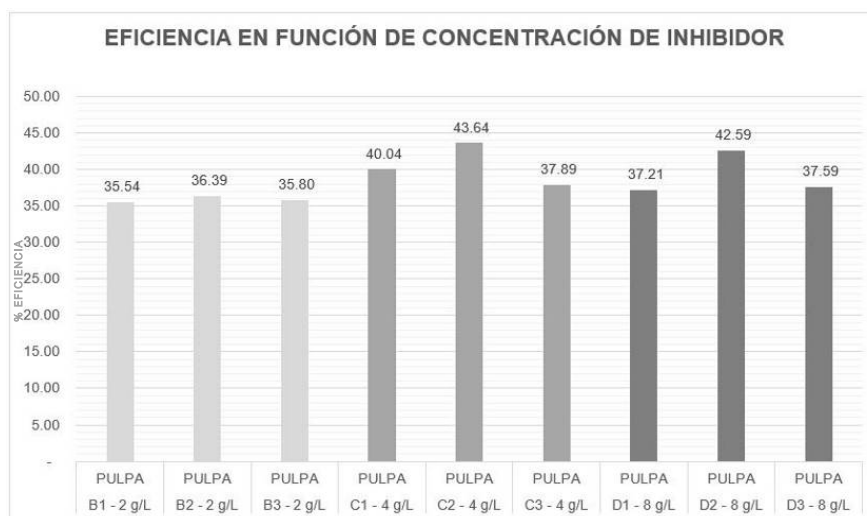


Figura 4.20 Eficiencia de Inhibición Aluminio – Almidón Pulpa de Patata

En esta gráfica podemos apreciar nuevamente que, frente al aluminio, la eficiencia de inhibición del almidón se hace denotar, sin importar directamente su relación con la concentración empleada en la muestra. Se puede destacar que tanto este resultado como el del almidón de corteza de patata, son muy similares, lo que expresaría que las

propiedades químicas del almidón se mantienen en ambas situaciones a un nivel funcional igualitario.

4.3 Resumen de Resultados

Tabla 4-1 Resumen promedio de resultados

	ACERO AL CARBONO			ALUMINIO		
	EFICIENCIA DE INHIBICIÓN	VELOCIDAD CORROSIÓN	% MASA PERDIDA	EFICIENCIA DE INHIBICIÓN	VELOCIDAD CORROSIÓN	% MASA PERDIDA
A - S/P						
DESPROTEGIDO	-	1.25	3.06%	-	4.39	9.28%
B - 2 g/L						
ALMIDÓN						
CORTEZA	0.90	0.13	0.32%	0.39	2.68	5.81%
PULPA	0.90	0.13	0.31%	0.36	2.81	6.09%
PECTINA						
CORTEZA	0.85	0.18	0.45%	0.26	3.24	7.06%
PULPA	0.83	0.22	0.53%	0.37	2.78	6.01%
COMERCIAL	0.70	0.37	0.92%	-0.15	5.06	11.00%
C - 4 g/L						
ALMIDÓN						
CORTEZA	0.92	0.09	0.23%	0.40	2.63	5.75%
PULPA	0.90	0.13	0.31%	0.41	2.61	5.83%
PECTINA						
CORTEZA	0.87	0.16	0.39%	0.41	2.61	5.67%
PULPA	0.85	0.18	0.45%	0.31	3.01	6.56%
COMERCIAL	0.71	0.37	0.87%	-0.12	4.91	10.46%
D - 8 g/L						
ALMIDÓN						
CORTEZA	0.94	0.07	0.17%	0.42	2.55	5.55%
PULPA	0.90	0.13	0.31%	0.39	2.67	5.92%
PECTINA						
CORTEZA	0.91	0.12	0.29%	0.39	2.66	5.87%
PULPA	0.90	0.12	0.31%	0.35	2.85	6.21%
COMERCIAL	0.78	0.28	0.69%	-0.07	4.69	10.02%

En la presente tabla se exponen los resultados promedio de cada ensayo realizado. Las celdas han sido filtradas por color respecto a su valor comparativo verticalmente, por lo que se puede apreciar tanto para el acero como para el aluminio, cuáles son los valores que denotan la viabilidad de uso de cada solución. Las barras verdes muestran la eficiencia de inhibición, las rojas indican la variación de velocidad de corrosión en micras por hora ($\mu\text{m/h}$), y las barras naranjas el porcentaje de masa perdida frente a la inmersión en el ácido clorhídrico de concentración de un molar por 24 horas.

En esta, podemos apreciar numéricamente que los mejores resultados en ambos casos se obtuvieron por el almidón de corteza de patata, mientras que los menos favorables e incluso perjudiciales fueron provocados por la pectina comercial de manzana ensayada con la menor concentración de solución.

Las gráficas combinadas que se muestran a continuación, presentan los resultados promedio obtenidos en los ensayos del acero al carbono y del aluminio. Para cada caso indicado en la parte inferior se muestra: en las barras de columna el porcentaje de pérdida de masa, las líneas azules con marcadores cuadrados presentan la eficiencia de inhibición y la línea punteada con marcadores triangulares presenta la velocidad promedio de corrosión.

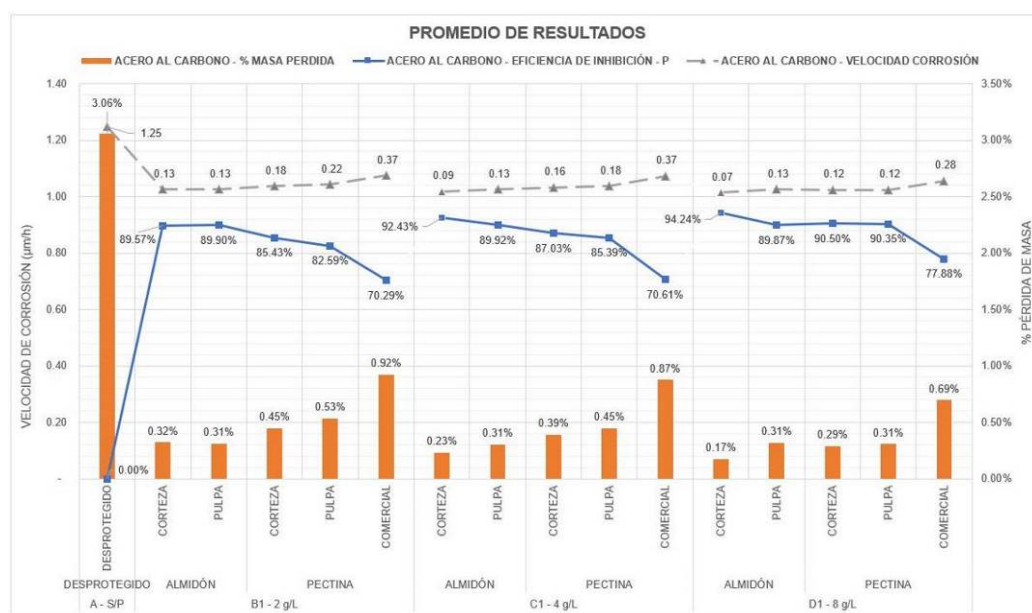


Figura 4.21 Resumen promedio de resultados **Acero al Carbono**

De esta gráfica es destacable visualmente la alta eficiencia del inhibidor en todas sus concentraciones y compuestos, al ser siempre el pico más alto el resultado de los efectos causados por el ácido directamente a la muestra de acero. Del mismo modo el almidón de corteza se muestra como el más eficiente por los efectos contrarios.

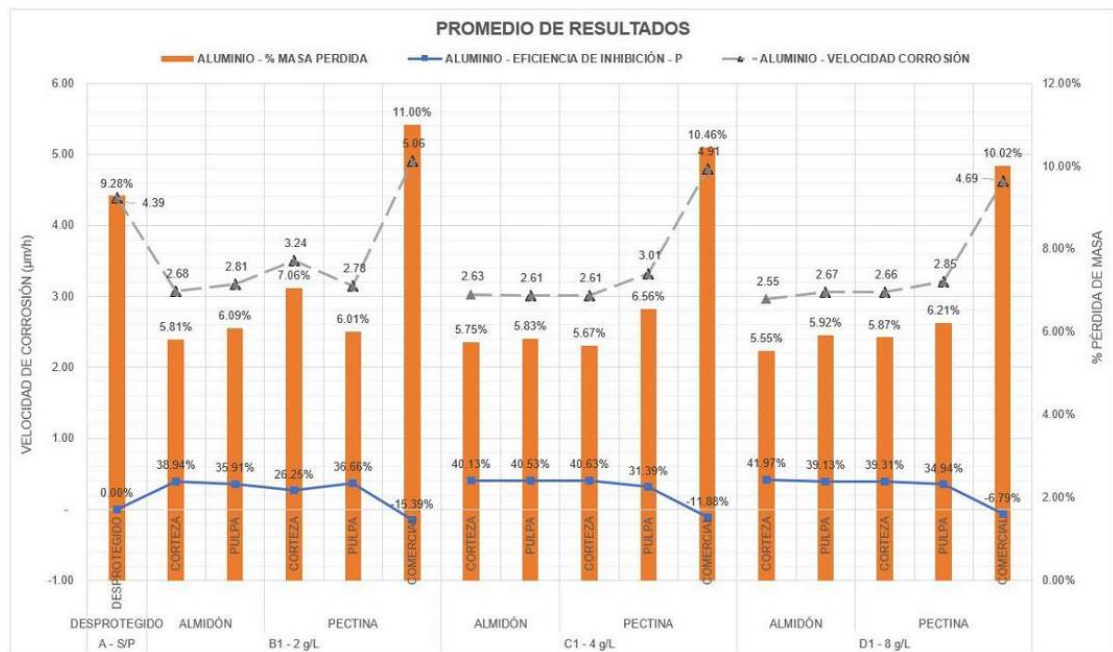


Figura 4.22 Resumen promedio de resultados Aluminio

De esta gráfica partimos que al ser el aluminio una aleación distinta a la del acero, tiene claramente reacciones diferentes frente al ácido. La ineficiencia de la pectina comercial extraída de manzana se resalta por ser los picos más altos en todos los ensayos, mientras que se visualiza la homogeneidad en los resultados favorables de todas las otras concentraciones utilizadas para los ensayos.

4.4 Resultado de Análisis Topológico por SEM

En esta sección se presentará las imágenes logradas por detector secundario de electrones (SEI) e imágenes por detector de electrones retrodispersados (BEC); además ambos tipos de imagen serán expuestos en 3 aumentos distintos (100, 1000, 2000), a fin de examinar su morfología superficial desde diferentes aproximaciones.

4.4.1 Placa en ausencia de inhibidor y sin inmersión en HCl

La placa de acero examinada, no se ha sometido a ningún proceso de inmersión en HCl, ni tampoco fue aplicado el monocapa protector; únicamente, como a todas las muestras ensayadas; fue lijada para eliminar la herrumbre y posteriormente limpiada con acetona y agua destilada.

Aumento x100

Las imágenes por SEI y BEC de aumento 100, exponen una superficie uniforme; los surcos que se visualizan corresponden, al proceso de preparación de la muestra, previa de la aplicación del monocapa protector, la cual es lijada, con lija grado 1000, para la eliminación de la herrumbre.

No es posible distinguir partículas que intuyan una corrosión previa al ensayo, tampoco se distingue formación de herrumbre, a esta escala.



Figura 4.23. SEI y BEC con aumento de x100

En la imagen del BEC correspondiente a esta muestra, no se aprecia varias fases con distintos elementos, pues se denota una superficie relativamente lisa.

Aumento x1000

Las imágenes por SEI y BEC de aumento 1000, expone a mayor amplitud los surcos generados por el lijado, del proceso de preparación de muestras y eliminación de la herrumbre.

No se identifica signos de corrosión alguna, ni presencia de partículas.

La imagen BEC, no revela zonas oscuras o negras; por tanto, no se identifica a esta escala ningún elemento distinto o no correspondiente a la propia superficie.

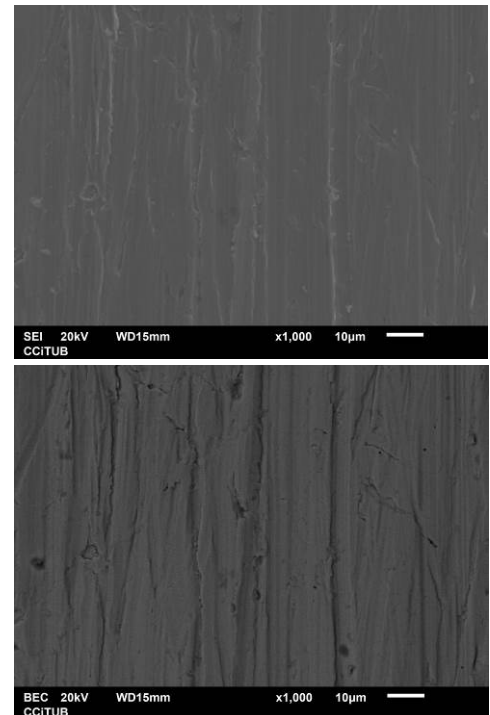


Figura 4.24. SEI y BEC con aumento de x1000

Aumento X2000

Las imágenes por SEI y BEC de aumento 2000, no muestran una rugosidad inusual; exhibe a mayor amplitud los surcos generados por el lijado, del proceso de preparación de muestras y eliminación de la herrumbre; proceso que fue aplicado a cada una de las muestras antes de ser ensayadas.

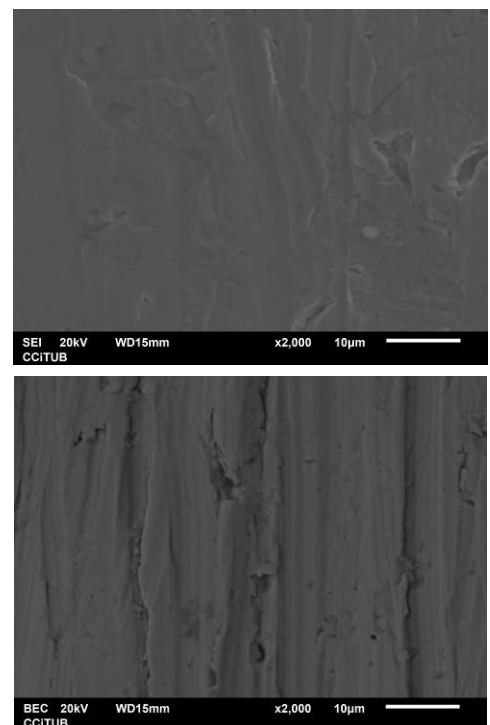


Figura 4.25. SEI y BEC con aumento de x2000

4.4.2 Placa en ausencia de inhibidor y con inmersión en HCl

La placa de acero F114, fue sumergida en HCl durante 24h, en ausencia del inhibidor de almidón de corteza.

Aumento X100

Las morfologías superficiales de la placa de acero, muestran a diferencia de las imágenes del aparatado anterior, indicios de daños por ataque corrosivo de la solución acida de HCl, pues es factible identificar una mayor rugosidad además de contraste en la imagen por BEC.

No se aprecia, los surcos correspondientes al proceso de lijado de la fase de preparación de la muestra y eliminación de la herrumbre, previo a la inmersión en el HCl, por tanto, se asume una pérdida consistente de superficie por efecto de la corrosión acida.

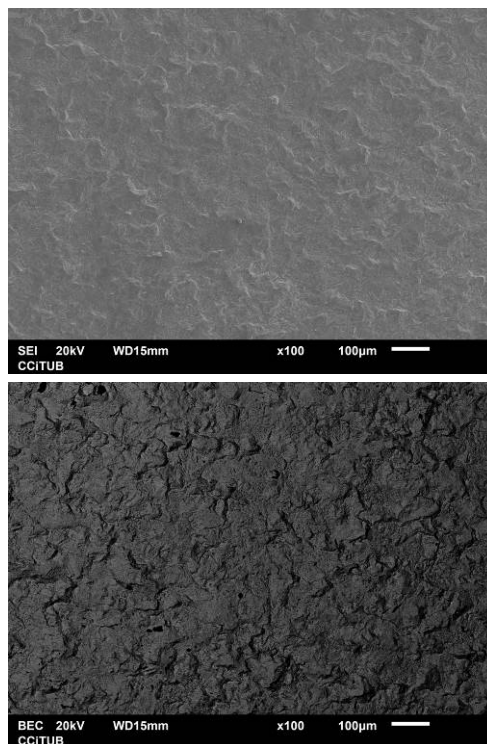
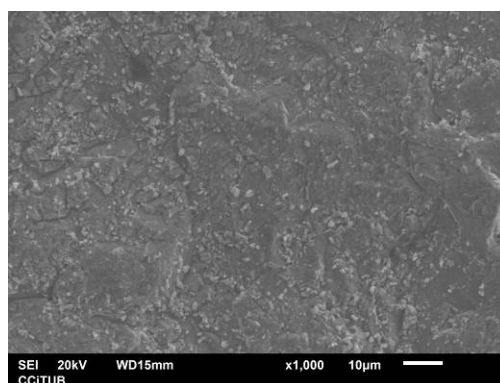


Figura 4.26. SEI y BEC con aumento de x100

Aumento x1000

Tanto la imagen por SEI, como por BEC, corroboran el ataque corrosivo del ácido clorhídrico, pues no se identifica ninguna superficie uniforme, además se observa partículas que eventualmente corresponden al material



deteriorado de la placa.

La imagen por BEC, muestra un contraste alto de zonas oscuras, así también exponen una superficie significativamente rugosa.

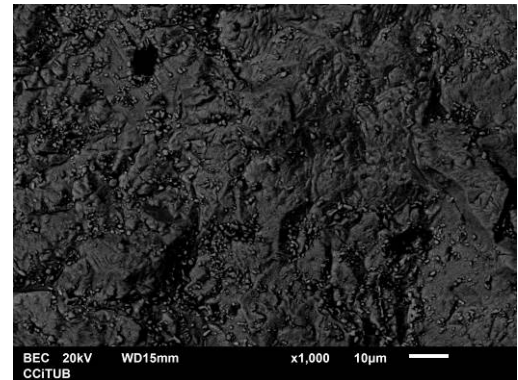


Figura 4.27 SEI y BEC con aumento de x1000

Aumento x2000

Conforme a las imágenes anteriores, tanto en la microscopia de electrones secundarios, como de electrones retrodispersados; exponen en la morfología superficial de la placa, un notorio deterioro del material por efecto del ácido clorhídrico, pues se identifica una superficie totalmente rugosa, además de posible material disperso a lo largo de la muestra.

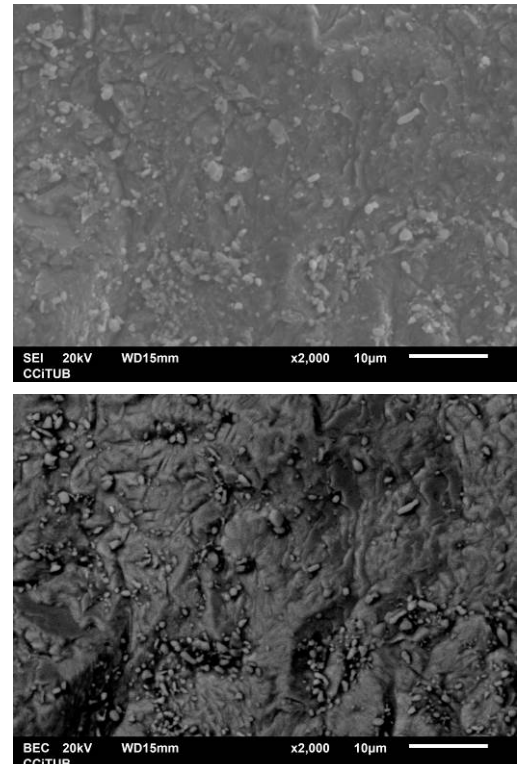


Figura 4.28 SEI y BEC con aumento de x2000

4.4.3 Placa en presencia de inhibidor y con inmersión en HCl

La placa de acero examinada a la cual se le aplicó un monocapa protector a partir de almidón de corteza de patata, fue sometido a un proceso de inmersión en HCl durante 24h.

Aumento x100

La morfología resultante de la placa estudiada, muestra una superficie comparativamente más lisa, que la superficie de la placa sumergida en HCl, en ausencia del monocapa protector orgánico, lo que apunta el efecto positivo del inhibidor del almidón de corteza.

A esta escala, no es posible identificar un posible deterioro del material o zonas de corrosión selectiva.



Figura 4.29 SEI y BEC con aumento de x100

Aumento x1000

Las imágenes por SEI y BEC, confirman la efectividad del almidón de patata como inhibidor orgánico del acero en solución acida de HCl, pues la rugosidad de la superficie es drásticamente inferior, en comparación al plano mostrado por la placa sin protección del apartado anterior, así mismo se evalúa un deterioro menor.

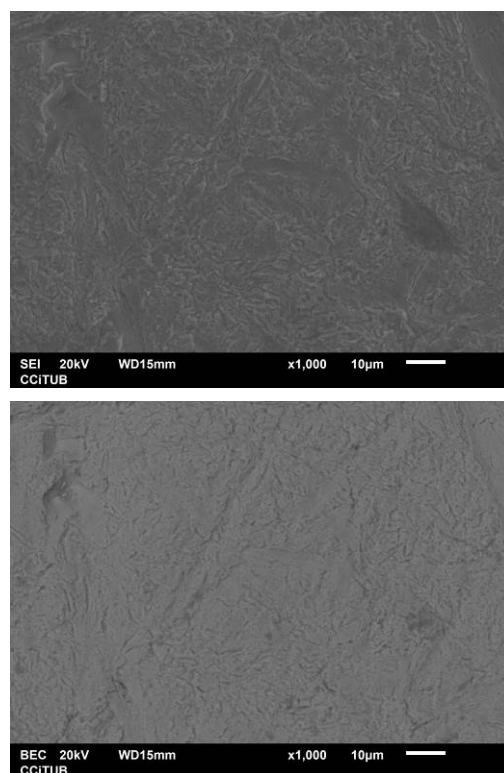


Figura 4.30 SEI y BEC con aumento de x1000

Aumento x2000

Las imágenes por microscopia de electrones secundarios, y por electrones retrodispersados; revelan en la morfología superficial de la placa, una evidente protección del inhibidor orgánico. La superficie de la placa es homogénea además no se aprecia deterioro del material por efecto del ácido clorhídrico, ni tampoco material disperso, como se observaba en las imágenes correspondiente a la placa en ausencia del inhibidor.

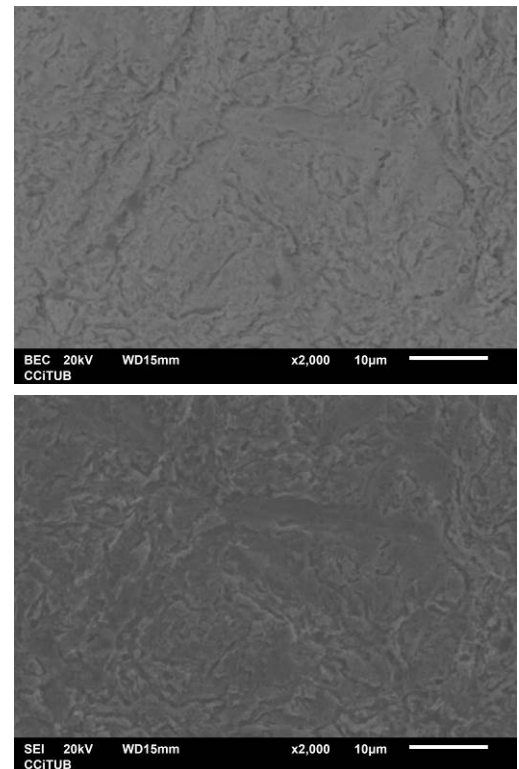


Figura 4.31 SEI y BEC con aumento de x 2000

Es ciertas áreas de la placa se observan zonas de corrosión selectiva, tal como lo muestra la imagen 4.32, se asume que esto podría deberse por deficiencias de aplicación del monocapa protector.

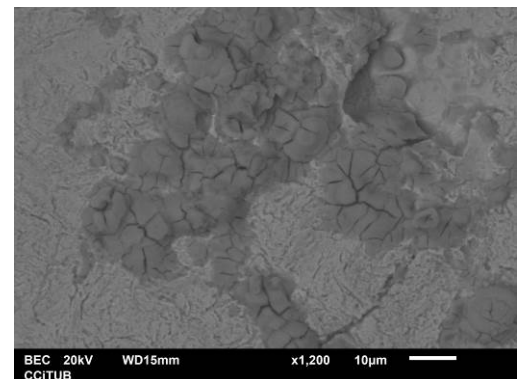


Figura 4.32 Bec de una zona de la placa con corrosión

4.4.4 Placa en presencia de inhibidor y sin inmersión en HCl

La placa de acero examinada se le ha aplicado el inhibidor orgánico a partir de almidón de corteza de patata. Esta placa no se ha sometido a ningún medio ácido, por tanto, se busca estudiar el monocapa protector adsorbida por la superficie de la muestra.

Aumento x100

Conforme lo mostrado en las imágenes de la placa presentadas en la primera parte de esta sección, se identifica los surcos correspondientes al lijado previo para la eliminación de la herrumbre; sin embargo, es notorio tanto en las imágenes por SEI y como por BEC, la diferenciación de partículas oscuras sobre la superficie, las cuales corresponde a las partículas insolubles del almidón de patata que han quedado adheridas a la placa de acero.

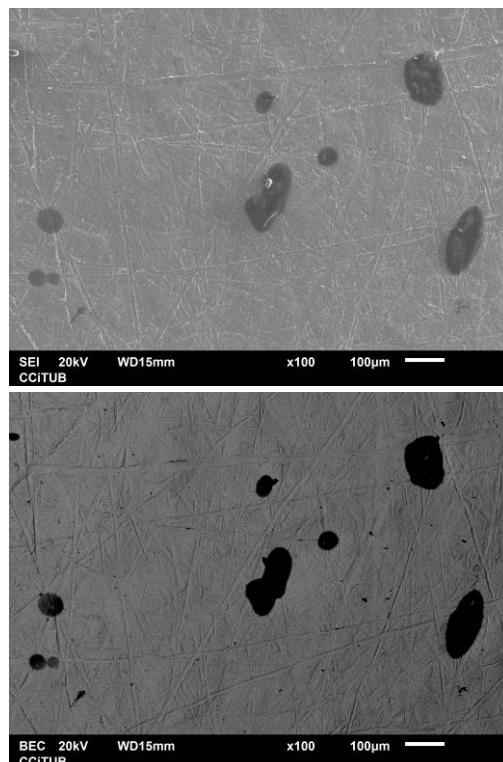


Figura 4.33 SEI y BEC con aumento de x 100

Aumento x500

Las imágenes por microscopia de electrones secundarios, y por electrones retrodispersados; muestran un brillo o contraste distinto, en función a los distintos elementos presentes en la superficie de la placa, esta información se corrobora, gracias al micro análisis por espectro, con la cual se puede distinguir qué elementos conforman las áreas más brillantes.

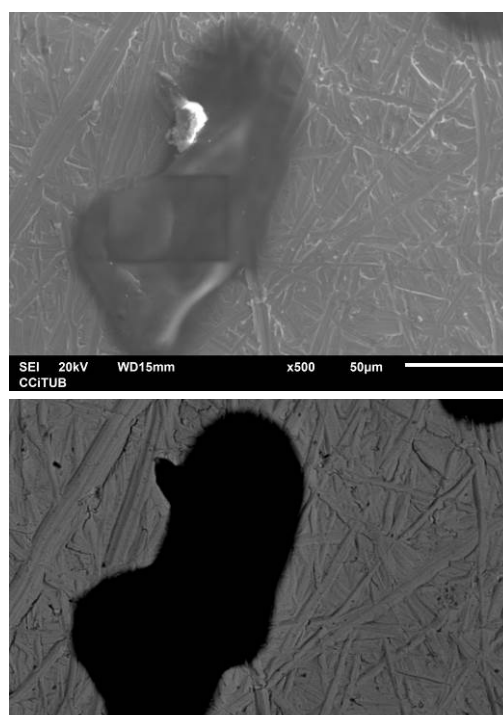


Figura 4.34 SEI y BEC con aumento de x 500

Micro análisis por espectro de partícula de almidón

En referencia a las imágenes anteriores, se corroboró, por medio del micro análisis por espectro, la existencia de partículas de almidón en la superficie de la placa de acero, pues de obtuvieron lecturas de elementos como fósforo y potasio, los cuales están presentes en el almidón de corteza de patata.

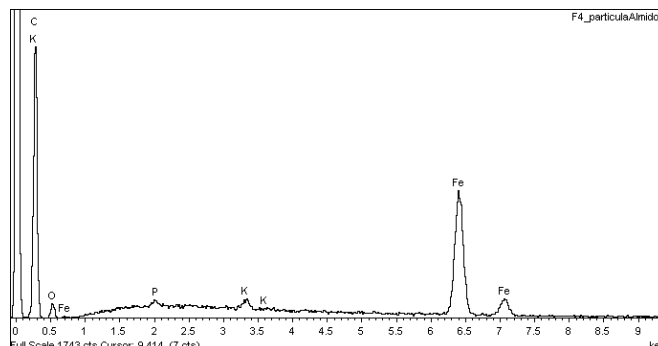


Figura 4.35. Espectro de la partícula de almidón, encontrada en la superficie de la placa

4.4.5 Resumen de resultados (SEM)

Las morfologías superficiales examinadas a partir de las imágenes efectuadas a las placas de acero f114 en ausencia y presencia de 8,0 g por litro de almidón de corteza de patata, como inhibidor orgánico, y su posterior exposición por 24h en HCl 1 M; revelan una superficie considerablemente rugosa en la figura 4.28, debido al daño corrosivo del ácido y por la ausencia de protección, mientras que, las figura 4.30 expone una superficie comparativamente más uniforme y lisa, demostrando la efectividad del almidón como inhibidor

4.5 Comparativa de pintura antioxidante y almidón de corteza de patata

En esta sección del capítulo, se expone los resultados de eficiencia de inhibición y velocidad de corrosión alcanzados por la pintura antioxidante, además se hace una breve comparación con los resultados de mayor efectividad descritos en la

sección 4.3; donde el almidón de corteza de patata, fue el inhibidor orgánico más eficiente según lo demuestra nuestros ensayos.

4.5.1 Eficiencia de Inhibición de Pintura y comparativa con el almidón de corteza de patata

Al realizar el ensayo con este producto comercial, denota clara efectividad desde el aspecto visual; la fina capa aplicada en toda la superficie de la muestra se mantuvo homogénea tanto antes como después de ser inmersa en el ácido durante las 24 horas. Esta condición visual denota una clara efectividad, y los números obtenidos de la pérdida de masa corroboran su función protectora, con un promedio de 99.4% de eficiencia (siendo despreciable el 0.6 debido a que fue masa perdida por la propia capa de pintura), sin embargo, es importante mencionar que el recubrimiento de pintura modifica el aspecto estético de la placa, por cual esta condición bajo ciertas circunstancias podría ser una desventaja.

En contraste el almidón de corteza, no cambia el aspecto de la superficie de la placa, ya que se trata de un monocapa protector relativamente transparente, además considerando que su efectividad en el acero fue del 94%, se establece como un promisorio inhibidor orgánico, el cual evidentemente requiere aun estudios, referente a la caducidad del mismo por tratarse de un producto orgánico, de cara a consolidarse en una aplicación industrializada; si bien esto último no es el propósito de la investigación, pues se busca comprobar la efectividad de distintos inhibidores orgánicos, el almidón de corteza de patata podría ser una alternativa viable a la pintura antioxidante.

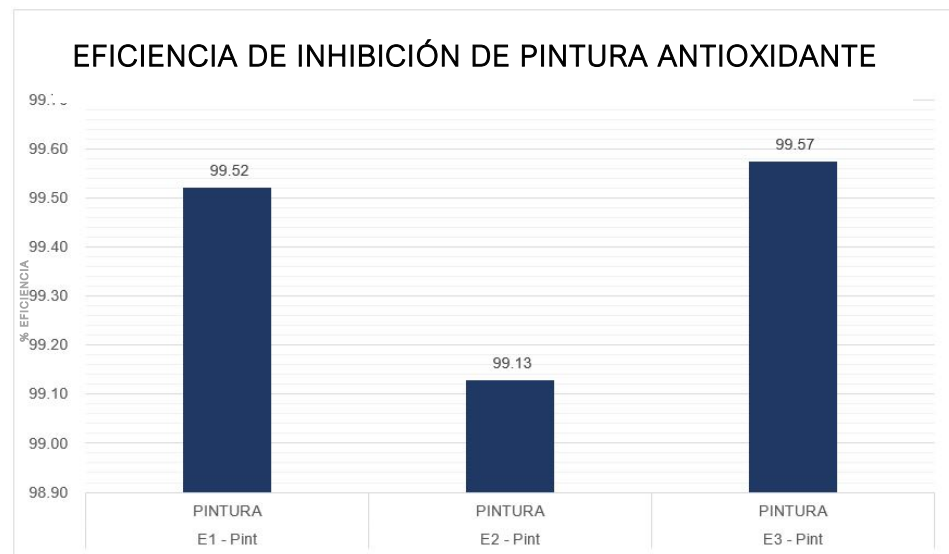


Figura 4.36. Eficiencia de inhibición de **Pintura Antioxidante - Acero**

La pintura antioxidante en el aluminio tuvo un comportamiento menos efectivo. Mostrando ciertos desprendimientos de la misma, además en las zonas donde pudo penetrar al ácido, producto de micro fisuras en el recubrimiento, provocó un deterioro por corrosión de forma concentrada en el área expuesta. Sin embargo, cabe recalcar, que para las 24 horas el promedio alcanzado de 67% denota la ventaja industrial de uso frente al 42% alcanzado por el almidón de corteza.



Figura 4.37. Eficiencia de inhibición de **Pintura Antioxidante – Aluminio**

4.5.2 Velocidad de Corrosión de la Pintura y comparativa con el almidón de corteza de patata.

Esta gráfica confirma el hecho de que la pintura protegió en su totalidad a la muestra de acero, siendo el resultado 0,01 micras por hora que corresponderían a la pérdida de masa de la capa protectora, más no de la placa como tal. Denota también la buena adherencia que se obtuvo entre ambos materiales, debido especialmente a las propiedades químicas del producto.

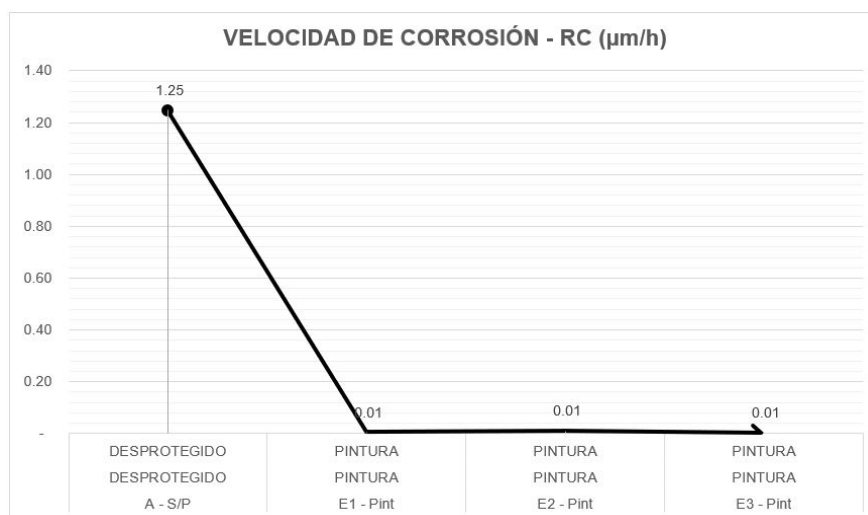


Figura 4.38. Velocidad de corrosión de la Pintura Antioxidante – Acero

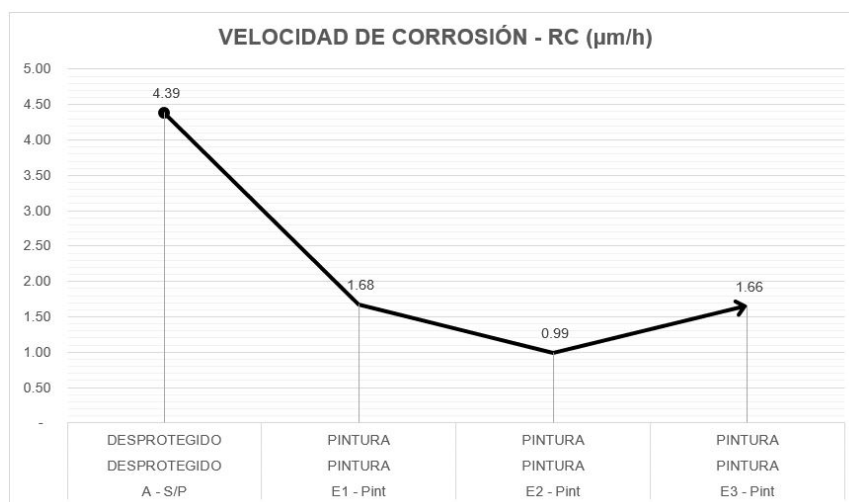


Figura 4.39. Velocidad de corrosión de la Pintura Antioxidante – Aluminio

De esta gráfica, se aprecia que el resultado promedio obtenido de 1,3 corresponde tanto a la capa de pintura como al aluminio en sus zonas expuestas. Sin embargo, el valor corresponde únicamente a un 50% del obtenido en promedio por el almidón de corteza. Esto denota que las propiedades químicas de ambos protectores tuvieron resultados similares en cuestión de adherencia, siendo la pintura más clara en cuestión visual de detectar dónde se ha desprendido y permitido el daño directo a la muestra.

CONCLUSIONES / RECOMENDACIONES

El almidón y la pectina han sido estudiados, por potencial efecto de inhibición, reduciendo la velocidad de corrosión ácida del acero y el aluminio. De ello conforme a los resultados alcanzados, es factible concluir lo siguiente:

- a) Se pudo apreciar en relación a la pérdida de masa y a la velocidad correspondiente de corrosión, que las capas adsorbidas tanto de la pectina como del almidón, reaccionaron con los metales y disminuyeron la velocidad de las reacciones catódicas que provocan la corrosión. Al mismo tiempo se deduce, por los conceptos químicos descritos anteriormente, que las zonas anódicas formadas en la superficie se polarizaron y por tanto se redujo la corriente que provoca
- b) Pudimos apreciar que el método de extracción del almidón de la patata es considerablemente más sencillo que el de la pectina
- c) La pectina comercial empleada en su formato original, diluida en agua destilada, interviene levemente como un inhibidor de la corrosión ácida en el acero, sin embargo, en el aluminio, no presenta ningún efecto de protección, incluso en concentraciones altas.
- d) El almidón extraído tanto de la corteza como de la pulpa de patata, mostraron una eficacia de inhibición significativa, en el estudio del efecto corrosivo del HCl, en el acero y el aluminio
- e) El monocapa protector, de almidón de corteza de patata a una concentración de 8g/L, mostró la reducción de velocidad de corrosión más alta en el acero y el aluminio siendo esta del 94% y 42%, respectivamente.
- f) La pectina de corteza de patata, fue el segundo mejor inhibidor, en cuanto, al descenso de velocidad de corrosión tanto para el acero como el aluminio; reduciendo un 92% y 41%, respectivamente

- g) Existe una relación directamente proporcional entre la concentración (g/L - gramos de soluto, **PC**, **PCP**, **PPP**, **ACP**, **APP** y litro de solvente, agua destilada) de la solución inhibidora; y la reducción de velocidad de corrosión en el acero mientras que, para el aluminio, es mínimamente significativa independientemente de la concentración utilizada para su protección.

- h) La microscopia electrónica de barrido (SEM), revela el efecto del almidón de corteza como inhibidor orgánico para el acero en un medio ácido, pues las superficies sometidas al HCl en ausencia del monocapa protector son significativamente rugosas y denotan un daño evidente por corrosión; en contraste, las superficies de la muestra en presencia del inhibidor, exhiben un plano mayormente liso y uniforme con ligera corrosión selectiva.

BIBLIOGRAFÍA

- ANDRADE, M.C., 1991. Corrosión (Ingeniería Química) TEMA 11. . Madrid:
- APAZA PUCAMAYO, S.G. y GUZMAN COARITA, L.G., 2018. *Evaluación de la eficiencia inhibidora de corrosión de almidones de papa modificados en hierro fundido dúctil aplicado en agua potable - La Tomilla I*. S.I.: Universidad Nacional de San Agustín.
- ARGENPAPA, A. de profesionales de patata, 2019. Producción: Mapa mundial de la patata 2019 | ARGENPAPA. [en línea]. [Consulta: 16 enero 2020]. Disponible en: <https://www.argenpapa.com.ar/noticia/8104-produccion-mapa-mundial-de-la-patata-2019>.
- BETANCOURT LATORRE, L.D., 2009. Extracción De Pectinas a Partir De Los Subproductos Del Beneficio Del Cacao. *Methods in Carbohydrate Chemistry* [en línea], pp. 1-55. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/47237189.pdf>.
- CABRERA, P., 2006. Protección Contra La Corrosión Mediante El Empleo De Inhibidores. *Revista Peruana de Química e Ingeniería Química*, vol. 9, no. 1, pp. 25-32. ISSN 1609-7599.
- FARES, M.M., MAAYTA, A.K. y AL-QUDAH, M.M., 2012. Pectin as promising green corrosion inhibitor of aluminum in hydrochloric acid solution. *Corrosion Science* [en línea], vol. 60, pp. 112-117. ISSN 0010938X. DOI 10.1016/j.corsci.2012.04.002. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.corsci.2012.04.002>.
- FIORI-BIMBI, M. V., ALVAREZ, P.E., VACA, H. y GERVASI, C.A., 2015. Corrosion inhibition of mild steel in HCl solution by pectin. *Corrosion Science*, vol. 92, pp. 192-199. ISSN 0010938X. DOI 10.1016/j.corsci.2014.12.002.
- HERNÁNDEZ-MEDINA, M., TORRUCO-UCO, J.G., CHEL-GUERRERO, L. y BETANCUR-ANCONA, D., 2008. Caracterización fisicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán, México. *Ciencia e Tecnología de Alimentos*, vol. 28, no. 3, pp. 718-726. ISSN 01012061. DOI 10.1590/s0101-20612008000300031.

- JAROMÍR KLEMEŠ, J., YEN LIEW, P., SHIN HO, W., SHIUN LIM, J., HAZIRAH HAMIDON, N. y NORULFAIRUZ ABANG ZAIDEL, D., 2017. Effect of Extraction Conditions on Pectin Yield Extracted from Sweet Potato Peels Residues using Hydrochloric Acid. *Chemical Engineering Transactions*, vol. 56, pp. 979-984. ISSN 2283-9216. DOI 10.3303/CET1756164.
- KALATHAKI, I., ALBA, K., MUHAMEDSALIH, H. y KONTOGIORGOS, V., 2019. Fabrication and characterisation of metal-doped pectin films. *Food Hydrocolloids* [en línea], vol. 92, no. January, pp. 259-266. ISSN 0268005X. DOI 10.1016/j.foodhyd.2019.01.065. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.01.065>.
- Microscopia electrónica de barrido : Servicio de Microscopía Electrónica : UPV. [en línea], 2019. [Consulta: 27 enero 2020]. Disponible en: <http://www.upv.es/entidades/SME/info/753120normalc.html>.
- PAGAN I GILABERT, J., 1999. Degradación enzimática y características físicas y químicas de la pectina del bagazo de melocotón. *Alicante: Biblioteca Virtual Miguel de Cervantes, 1999* [en línea], pp. 1-138. DOI 84-688-3807-1. Disponible en: <http://www.cervantesvirtual.com/nd/ark:/59851/bmcz8965>.
- PEDEFERRI, P., 2018. *Engineering Materials Corrosion Science and Engineering Edited by Luciano Lazzari and MariaPia Peddeferri* [en línea]. S.l.: Springer. ISBN 9783319976242. Disponible en: <http://www.springer.com/series/4288>.
- PRABAKARAN, M., RAMESH, S., PERIASAMY, V. y SREEDHAR, B., 2015. The corrosion inhibition performance of pectin with propyl phosphonic acid and Zn^{2+} for corrosion control of carbon steel in aqueous solution. *Research on Chemical Intermediates* [en línea], vol. 41, no. 7, pp. 4649-4671. ISSN 15685675. DOI 10.1007/s11164-014-1558-0. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1007/s11164-014-1558-0>.
- RANOW, C.W., 2008. TM-584C , Revision C , November 1 , 1994, Corrosion Control and Treatment Manual. *NASA KSC Export Control Office (ECO) Export / SBU Determination Stamp*,
- SORIANO RULL, A. y PANCORBO FLORISTÁN, F.J., 2014. *Suministro, distribución y evacuación interior de agua sanitaria*. S.l.: Marcombo ediciones técnicas.

- VILLADA, H.S., ACOSTA, H.A. y VELASCO, R.J., 2008. Investigación de Almidones Termoplásticos, Precursores de Productos Biodegradables. *Información Tecnológica* [en línea]. S.l.: [Consulta: 7 agosto 2019]. Disponible en: www.mater-bi.com],.
- Y, S. y RAO, P., 2019. Material conservation and surface coating enhancement with starch-pectin biopolymer blend: A way towards green. *Surfaces and Interfaces* [en línea], vol. 16, no. January 2018, pp. 67-75. ISSN 24680230. DOI 10.1016/j.surfin.2019.04.011. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.surfin.2019.04.011>.
- YANG, J.-S., MU, T.-H. y MA, M.-M., 2018. Extraction, structure, and emulsifying properties of pectin from potato pulp. [en línea], [Consulta: 8 agosto 2019]. DOI 10.1016/j.foodchem.2017.10.059. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.10.059>.
- ZENAB, C. y MINAN, M., 2018. Inquiry-Based Worksheet On The Utilization Of Pectin From Lemon Peel Waste As Corrosion Inhibitors To Support Student Understanding In Electrochemistry Concept. *International Journal of Pure and Applied Mathematics*, vol. 118, no. 24, pp. 1-15.

AGRADECIMIENTOS

Ronny

Agradezco primeramente a Dios y a mi familia, por el apoyo infinito que me han brindado a larga distancia, y especialmente a mi hijo Tomás, quien ha sido y será mi motivación para continuar creciendo personal y profesionalmente.

Una mención especial a la Secretaría de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación (SENESCYT) por haber auspiciado mi beca para cumplir con esta meta.

Bolívar

Extender mi sincero agradecimiento, a Dios, mi familia y mi prometida; quienes permanentemente me han brindado su apoyo incondicional; hecho que sirve de motivación permanente, para enfrentar nuevos retos.

Ronny & Bolívar

Nuestro agradecimiento, respeto y admiración a nuestras directoras del trabajo de fin de master, Ana y Laia; quienes fueron imprescindibles para el desarrollo efectivo de nuestra investigación.